



**Yadira Coromoto
Dias Neves**

Conceção bioclimática de edifícios industriais



**Yadira Coromoto
Dias Neves**

Conceção bioclimática de edifícios industriais

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica da Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira Correia, Professora Auxiliar, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e do Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, Professor Auxiliar, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Dedico esta dissertação aos meus pais e à minha avó.

o júri

presidente

Prof. Doutor Joaquim José Borges Gouveia

Professor Catedrático do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António José Barbosa Samagaio

Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro
(arguente)

Prof. Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira Correia

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro
(orientadora)

Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro
(coorientador)

agradecimentos

Agradeço a Deus por cada oportunidade que a vida me apresenta.

Aos meus pais que, com todo o seu apoio e dedicação, fizeram de mim o que sou hoje.

À minha família, pelo apoio, o amor e a força. Por estarem sempre presentes.

À Doutora Mónica Oliveira e o Doutor Nelson Martins, por toda a ajuda, conselhos e orientação.

Ao Engenheiro Bruno Lamas e às Professoras Ana Miranda e Celeste Coelho pela ajuda e boa disposição.

Às diversas empresas e pessoas que contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos deste lado do mundo, especialmente a Emiliana, o Carlos, o Dilas, a Ana, a Manuela, a Catarina e o Alexandre, não tenho palavras, simplesmente obrigada!

À pessoas igualmente especiais, a Sofia, a Silvana e a Tily, pelo apoio nos momentos mais difíceis.

Ao Arquiteto Isidro Sanz Ares, pelo apoio, dedicação e boa disposição de sempre. Obrigada por fazeres de mim quem sou como Arquiteta.

A ti, por cada minuto.

E por último, mas não de menor importância, aos amigos que ficaram do outro lado do mundo mas que continuam igualmente presentes, obrigada à Mariana, à Laura, à Kat, à Rosa, à Berenice, à Ana, à Karina, à Ruth, à Gina, ao Guillermo, à Majo, à Raquel, à Denis, à Denisse, ao Edicson, à Cenit, ao Wilder, à Reldy, à Fátima e todos aqueles que, mesmo sem aparecer aqui, tem sido parte essencial da minha vida.

palavras-chave

arquitetura bioclimática; edifícios industriais; eficiência energética; medidas de conforto passivo; gases de efeito de estufa; soluções construtivas.

resumo

As empresas multinacionais têm, por norma, unidades de negócio distribuídas por diferentes locais/países, sendo comum a edificação de unidades fabris nos locais onde se instalam. A utilização de um único projeto de construção é tentadora pois reduz os custos e o tempo de instalação, favorece os processos de melhoria contínua, podendo ainda constituir-se como uma forma de afirmação da imagem de marca e dos valores da instituição. Contudo, esta abordagem pode revelar-se desvantajosa a médio prazo podendo resultar em edifícios pouco adequados às condições climáticas locais. Ainda assim, o desenvolvimento de projetos únicos e de raiz para cada localização parece ser inaceitável, sobretudo pelo tempo e custo que tal procedimento pressupõe. Uma solução intermédia consiste na definição de uma solução construtiva base, considerada como válida para qualquer que seja a localização do edifício, i.e., um denominador comum de todos os projetos, ao qual se poderão associar diferentes variantes (com carácter aditivo) sendo calculada a relação custo-benefício para diferentes localizações, ou melhor, climas.

A definição do projeto de um edifício industrial, a partir da soma de uma solução construtiva base e um conjunto de variantes compatíveis, permitirá, deste modo, acelerar o processo de otimização energética do edifício em função do clima onde vai ser construído, desde a sua conceção.

O estudo recorre a ferramentas computacionais para a avaliação do desempenho energético das opções selecionadas em diferentes localizações, assim como a ferramenta de otimização multi-critério para melhor avaliar a sua associação com o objetivo de minimizar relação custo benefício do conjunto, para cada clima.

Consequentemente, foi possível apresentar um portefólio de soluções construtivas, aplicáveis a nível internacional sobre uma base construtiva comum, de acordo com o clima onde se insere o projeto.

keywords

bioclimatic architecture; industrial buildings; energy efficiency; passive confort measures; greenhouse gases; constructive solutions.

abstract

Multinational companies have, as a rule, business units spread across different locations/ countries. The construction of factories in those places is common. The use of an exclusive construction project is very attractive as it results in a reduced cost, shorter installation time, promotes the continuous improvement processes, and may also constitute as a way of affirming the company brand image and values. However, this approach may prove to be disadvantageous in the medium term, because it may result in buildings not well adapted to the local climate. Though, the development of a unique project for each location seems to be unacceptable, especially due to its intrinsically time consumption. A compromise may consist in the definition of a basic constructive solution, valid whatever the location and climate, i.e., a common denominator for all projects, to which one may associate variants (with a cumulative character) regarding which the cost-benefit ratio would be calculated as a function of the locations/climate.

The definition of a specific industrial building as the sum of a basic architectural solution and a number of selected add-ons will accelerate the energy consumption optimization of the building, taking into account the climate where it will be built.

The developed study is based on the use of computational tools to evaluate the energy performance of selected bioclimatic construction options in different locations, together with multi-criteria optimization tools to minimizing the cost benefit ration, of each solution, for each one of the considered climates.

As a result it was possible to propose a portfolio of bioclimatic solutions, applicable on a common basic construction, as well as to identify the optimal set of solutions that will minimize the cost-benefit ratio of the whole building at a given climate.

Índice

| | |
|---|----|
| Índice de tabelas | 19 |
| Índice de figuras | 21 |
| Índice de anexos | 23 |
| Nomenclatura | 25 |
| Capítulo I – Introdução | 27 |
| 1.1 – Enquadramento | 28 |
| 1.2 – Objetivos principais da dissertação | 28 |
| 1.3 – Organização da dissertação | 29 |
| Capítulo II – Construção sustentável em edifícios industriais | 31 |
| 2.1 – Revisão bibliográfica | 31 |
| 2.2 – Clima e prioridades de <i>design</i> | 34 |
| 2.3 – Técnicas de climatização passiva..... | 41 |
| 2.3.1- Arrefecimento e ventilação | 41 |
| 2.3.1.1- Ventilação noturna..... | 41 |
| 2.3.1.2- Arrefecimento evaporativo | 42 |
| 2.3.1.3- Torre de vento..... | 42 |
| 2.3.1.4- Chaminé solar | 43 |
| 2.3.1.5- Sombreamento | 44 |
| 2.3.2- Aquecimento | 45 |
| 2.3.2.1- Estufa | 45 |
| 2.3.2.2- Parede de trombe | 46 |
| 2.3.2.3- <i>Solarwall</i> | 48 |
| 2.3.2.4- Isolamento da fachada | 48 |
| 2.3.3- Outros sistemas | 50 |
| 2.3.3.1- Parede de água | 50 |

| | |
|--|----|
| 2.3.3.2- Fachada dupla ventilada | 51 |
| 2.3.3.3- Cobertura ajardinada | 51 |
| 2.3.3.4- Lanternins | 52 |
| Capítulo III – Modelação energética e otimização multi-critério | 55 |
| 3.1 – Módulo de referência | 56 |
| 3.1.1- Definição geométrica..... | 56 |
| 3.1.2- Definição da envolvente | 57 |
| 3.1.2.1- Envolvente opaca..... | 57 |
| 3.1.2.2- Envolvente envidraçada..... | 58 |
| 3.2 – Variáveis em estudo..... | 60 |
| 3.2.1- Definição dos climas | 60 |
| 3.2.2- Medidas em estudo | 61 |
| 3.2.2.1- Isolamento | 61 |
| 3.2.2.2- Elementos de sombreamento | 61 |
| 3.2.2.3- Cobertura ajardinada | 62 |
| 3.2.2.4- <i>Solarwall</i> | 62 |
| 3.2.2.5- <i>Free cooling</i> | 63 |
| 3.3 – Análise paramétrica | 63 |
| 3.3.1- <i>RETScreen4</i> | 64 |
| 3.3.1.1- Modelo energético para medidas de eficiência energética | 66 |
| 3.3.1.2- Modelo energético para medidas de produção de frio..... | 67 |
| 3.3.1.3- Modelo energético para medidas de produção de calor | 68 |
| 3.3.2- Caracterização da climatização, equipamentos e condições de funcionamento do edifício industrial | 69 |
| 3.3.2.1- Climatização | 69 |
| 3.3.2.2- Infiltração de ar natural | 70 |

| | |
|---|----|
| 3.3.2.3- Lâmpadas e iluminação | 70 |
| 3.3.2.4- Equipamentos elétricos | 70 |
| 3.3.2.5- Água quente | 70 |
| 3.3.2.6- Motores | 70 |
| 3.3.2.7- Ar comprimido..... | 70 |
| 3.3.2.8- Refrigeração | 71 |
| 3.3.2.9- Horário de funcionamento | 71 |
| 3.3.2.10- Custo da energia..... | 71 |
| 3.3.2.11- Perdas da rede | 72 |
| 3.3.2.12- Taxas | 72 |
| 3.3.2.13- Tempo de vida do projeto | 72 |
| 3.3.3- Resultados da análise paramétrica | 72 |
| 3.4 – Análise multi-critério | 76 |
| 3.4.1- <i>Pradin 3.0</i> | 77 |
| 3.4.1.1- Modelo de aplicação da análise multi-critério para a elaboração do <i>ranking</i> das medidas..... | 79 |
| 3.5 – Definição do portfólio | 83 |
| Capítulo IV - Análise e discussão de resultados | 85 |
| 4.1 – Análise das medidas segundo o clima..... | 85 |
| 4.1.1- Clima equatorial de monção ou savana (Am-Aw)..... | 85 |
| 4.1.2- Clima árido de estepes quentes, baixa latitude e altitude (BSH)..... | 87 |
| 4.1.3- Clima árido de estepes frias, média latitude e grande altitude (BSk) | 88 |
| 4.1.4- Clima temperado húmido com verão quente e inverno seco (Cfa-Cwa). 89 | |
| 4.1.5- Clima temperado húmido com verão temperado e inverno seco (Cfb- Cwb)..... | 90 |
| 4.1.6- Clima continental temperado frio com estação seca e verão temperado ou verão seco e temperado (Dfb-Dsb) | 91 |

| | |
|---|-----|
| 4.2 – Análise segundo a medida | 92 |
| 4.2.1- Isolamento | 92 |
| 4.2.2- Sombreamento | 92 |
| 4.2.3- Cobertura ajardinada | 93 |
| 4.2.4- <i>Solarwall</i> | 93 |
| 4.2.5- <i>Free cooling</i> | 94 |
| Capítulo V - Conclusões | 95 |
| 5.1 - Limitações do trabalho desenvolvido | 96 |
| 5.2 - Propostas de trabalho futuro | 97 |
| Capítulo VI - Anexos | 99 |
| Capítulo VII - Referências bibliográficas | 127 |

Índice de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Classificação climática de <i>Köppen Geiger</i> [1, 15]..... | 36 |
| Tabela 2: Importância dos climas segundo a sua população (Elaboração própria). .. | 38 |
| Tabela 3: Grau de importância das medidas passivas e ativas para alguns climas. Adaptação própria com base em [16]. | 40 |
| Tabela 4: Tabela resumo e desenho do modelo de referência. | 59 |
| Tabela 5: Características e custo do isolamento [65] e manutenção [72]. | 61 |
| Tabela 6: Fator de sombreamento para inverno e verão, segundo a orientação das janelas e a latitude do projeto [73] e custos de investimento e manutenção [72]. | 62 |
| Tabela 7: Especificações da cobertura ajardinada [66, 74]. | 62 |
| Tabela 8: Custos de investimento e manutenção da <i>solarwall</i> [44]. | 63 |
| Tabela 9: Estudo paramétrico geral aplicável a qualquer clima. | 64 |
| Tabela 10: Estudo paramétrico para o clima Am-Aw..... | 73 |
| Tabela 11: Estudo paramétrico para o clima BSh..... | 73 |
| Tabela 12: Estudo paramétrico para o clima BSk..... | 74 |
| Tabela 13: Estudo paramétrico para o clima Cfa-Cwa | 74 |
| Tabela 14: Estudo paramétrico para o clima Cfb-Cwb..... | 75 |
| Tabela 15: Estudo paramétrico para o clima Dfb-Dsb..... | 75 |
| Tabela 16: Critérios de avaliação utilizados na aplicação da análise multi-critério. . | 76 |
| Tabela 17: Exemplo de matriz com critérios e opções para avaliação multi-critério. | 77 |
| Tabela 18: Escala de valores atribuídos aos diferentes critérios de avaliação. | 79 |
| Tabela 19: Código utilizado para a aplicação da análise multi-critério. | 80 |
| Tabela 20: Medidas/critérios por clima para a realização da análise multi-critério. . | 80 |
| Tabela 21: Relevância dos indicadores utilizados na análise multi-critério. | 81 |
| Tabela 22: Relevância dos indicadores GRI utilizados na análise multi-critério [90]. | 82 |
| Tabela 23: Soluções construtivas de possível aplicação em diferentes climas..... | 83 |
| Tabela 24: Importância de algumas medidas de conforto passivo nos diferentes climas analisados. | 84 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Princípios bioclimáticos [2]..... | 32 |
| Figura 2: Importância do clima para o consumo energético de um edifício..... | 34 |
| Figura 3: Mapa da classificação climática de <i>Köppen-Geiger</i> [13]..... | 35 |
| Figura 4: Exemplos de arrefecimento evaporativo [7, 26]..... | 42 |
| Figura 5: Exemplos dos diferentes tipos de torre de vento [23, 28]. | 43 |
| Figura 6: Exemplos de aplicação da chaminé solar [7, 23]..... | 43 |
| Figura 7: Utilização da vegetação como elemento de sombreamento [28]. | 44 |
| Figura 8: Exemplos dos diferentes elementos de sombreamento [23]..... | 45 |
| Figura 9: Esquema de comportamento de uma estufa [23]..... | 46 |
| Figura 10: Esquema de funcionamento da parede de Trombe para inverno, Primavera/Outono e verão [43]. | 47 |
| Figura 11: Diferentes tipos de aplicação de uma <i>SolarWall</i> [45]. | 48 |
| Figura 12: Diferentes tipos de isolamento térmico [46]. | 49 |
| Figura 13: Diferentes formas de colocação do isolamento na fachada [48]. | 50 |
| Figura 14: Esquema de funcionamento de uma parede de água [47]. | 50 |
| Figura 15: Esquema de funcionamento de uma fachada dupla ventilada [54]. | 51 |
| Figura 16: Esquema geral de uma cobertura ajardinada [57]. | 52 |
| Figura 17: Corte esquemático de um edifício com lanternins [23]..... | 53 |
| Figura 18: Metodología para a conceção bioclimática de edifícios industriais. | 55 |
| Figura 19: Diferentes modulações segundo as dimensões da grelha industrial. | 57 |
| Figura 20: Modelo de referência. | 59 |
| Figura 21: Esquema de desenvolvimento do estudo paramétrico. | 63 |
| Figura 22: Processo de desenvolvimento da análise das medidas no <i>RETScreen4</i> . .. | 65 |
| Figura 23: Processo de desenvolvimento da análise das medidas de eficiência energética no <i>RETScreen4</i> | 66 |
| Figura 24: Processo de desenvolvimento da análise das medidas de produção de frio no <i>RETScreen4</i> | 67 |
| Figura 25: Processo de desenvolvimento da análise das medidas de produção de calor no <i>RETScreen4</i> | 68 |
| Figura 26: Esquema de execução do <i>Pradin 3.0</i> , baseado em [89]. | 78 |

| | |
|---|----|
| Figura 27: Importância das medidas para o clima Am-Aw. | 85 |
| Figura 28: Importância das medidas para o clima BSh. | 87 |
| Figura 29: Importância das medidas para o clima BSk. | 88 |
| Figura 30: Importância das medidas para o clima Cfa-Cwa. | 89 |
| Figura 31: Importância das medidas para o clima Cfb-Cwb. | 90 |
| Figura 32: Importância das medidas para o clima Dfb-Dsb. | 91 |
| Figura 33: Desempenho do isolamento nos diferentes climas. | 92 |
| Figura 34: Desempenho do sombreamento nos diferentes climas. | 93 |
| Figura 35: Desempenho da cobertura ajardinada nos diferentes climas. | 93 |
| Figura 36: Desempenho da <i>solarwall</i> nos diferentes climas. | 94 |
| Figura 37: Desempenho do <i>free cooling</i> nos diferentes climas. | 94 |

Índice de anexos

| | |
|---|-----|
| Anexo 1: Tabela de classificação climática e população total por país. | 99 |
| Anexo 2: Prioridades de <i>design</i> em vários climas [16]..... | 109 |
| Anexo 3: Considerações relativas à localização do edifício. | 111 |
| Anexo 4: Caracterização dos climas. | 113 |
| Anexo 5: Áreas de naves industriais em diferentes países..... | 115 |
| Anexo 6: Temperaturas adequadas ao local de trabalho, segundo diferentes organizações ou documentos. | 117 |
| Anexo 7: Temperatura interna e humidade relativa recomendada para alguns produtos industriais comuns e processos de produção [78]. | 119 |
| Anexo 8: <i>Ranking</i> das medidas, segundo o clima, com base no Valor Atualizado Líquido. | 125 |

Nomenclatura

| | Unidade | Definição |
|-------------|----------|---|
| P_{ann} | (mm/ano) | Precipitação média anual. |
| P_{Imax} | (mm/mês) | Precipitação mensal máxima no inverno. |
| P_{Imin} | (mm/mês) | Precipitação mensal mínima no inverno. |
| P_{Lim}^1 | (mm) | Limiar de precipitação. |
| P_{min} | (mm/mês) | Precipitação mínima (ou do mês mais seco). |
| P_{Vmax} | (mm/mês) | Precipitação mensal máxima no verão. |
| P_{Vmin} | (mm/mês) | Precipitação mensal mínima no verão. |
| T_{ann} | (°C) | Temperatura média anual. |
| T_{max} | (°C) | Temperatura máxima (ou do mês mais quente). |
| T_{men10} | (°C) | Temperatura média supera os 10°C nos meses mais quentes do ano. |
| T_{min} | (°C) | Temperatura mínima (ou do mês mais frio). |

¹ O limiar de precipitação depende da medida absoluta da temperatura média anual (°C) e do ciclo anual de precipitação, sendo que:

$P_{Lim} = 2 (T_{ann})$ se pelo menos 2/3 da precipitação anual é no inverno.

$P_{Lim} = 2 (T_{ann}) + 28$ se pelo menos 2/3 da precipitação anual é no verão.

$P_{Lim} = 2 (T_{ann}) + 14$ se não apresentar nenhuma das opções anteriores.

1. Kotter, M.G., Jurgen, et al. *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. Meteorologische Zeitschrift, 2006. **15**, 259-263.

Capítulo I – Introdução

O ser humano tem evoluído desde o início da sua existência e com quase sete mil milhões de pessoas a habitar no mundo, as grandes sociedades estão rendidas à tecnologia e às vantagens da utilização da energia.

Os avanços tecnológicos em prol da ciência, da saúde e em outros âmbitos, não podem ser negados, porém, não são geralmente sustentáveis. Realidade agravada pelo impacto global do consumo energético vertiginoso, que não é devidamente ponderado pelas sociedades.

Uma avaliação mundial, sobre a quantidade de energia consumida anualmente, revela que comparativamente aos Estados Unidos da América, que consome uma quarta parte da energia total produzida no mundo, e ao Canadá, que tem o consumo *per capita* mais elevado, existem potências económicas emergentes como a China, o Brasil e a Índia, que representam um aumento notável no consumo energético mundial. Portugal, no ano de 2004, encontrava-se no sexto lugar da lista com um consumo de 2,3 Tep *per capita* [2].

Durante décadas, os quatro maiores consumidores de energia têm sido os setores do transporte, da habitação, do comércio e da indústria. Nesta última, por exemplo, defendia-se que por meio de uma manutenção eficiente e da utilização do equipamento adequado nas unidades de produção, seria possível diminuir o consumo de energia em 20% [3]. Na atualidade, a indústria continua a ser um dos setores com maiores níveis de energia consumida, representando 27,2% do total na EU-27, para o ano 2008 [4], e 50% da energia total fornecida no mundo, perspetivando-se um aumento anual de 1,5% na procura de energia por este setor até 2035 [5].

Para a redução ou controlo da energia consumida por um edifício, é necessário adotar medidas efetivas que permitam atingir a meta final de redução energética, sem prejuízo para o conforto do utilizador. O desempenho do edifício vai ser sempre afetado pelo clima, influenciando o conforto interno, o consumo energético e as cargas térmicas do mesmo, sendo o balanço entre as cargas térmicas e as necessidades de climatização, fundamental no contexto da minimização do consumo de energia e do conforto térmico.

A solução deste paradigma pode passar pelo conhecimento de diferentes opções, e a respetiva combinação de um modo assertivo. Essas opções abrangem a arquitetura do edifício, as opções construtivas e a utilização dos equipamentos. Desde o projeto até à

construção e a utilização, existem parâmetros de *design* e elementos construtivos que podem incrementar ou diminuir o consumo de energia, mediante a sua implementação [6]. É neste ponto que algumas normas e regulamentos ganham sentido², e os conceitos de sustentabilidade e de arquitetura bioclimática adquirem maior importância.

Neste sentido, surge o trabalho aqui apresentado, que recorre à utilização dos conceitos de sustentabilidade e de arquitetura bioclimática, de modo a postular uma metodologia conducente à definição de um edifício industrial, otimizado energeticamente, para qualquer parte do mundo.

1.1 – Enquadramento

A existência de empresas multinacionais, com unidades de produção industrial em diferentes países, cujos edifícios são homogêneos, resultado de um projeto único e consequentemente mal adaptado ao clima que naturalmente varia de local para local, resulta em economias na fase de instalação mas também em elevados consumos energéticos. Por outro lado, o desenvolvimento de projetos de arquitetura específicos para cada instalação resulta em custos de instalação elevados, seja pelo tempo que demora, seja pelo custo inerente ao desenvolvimento de um projeto de raiz, levantando ainda dificuldades adicionais no que se refere à gestão da imagem corporativa, que tenderá a degradar-se como resultado de uma evolução permanente. O presente trabalho pretende explorar as soluções intermédias entre os cenários extremos acima referidos, através do estudo prévio do desempenho e da parametrização de diferentes soluções bioclimáticas, em vários climas com elevado potencial, acopladas a um projeto base comum.

Alarga-se deste modo a preocupação com a eficiência energética às naves industriais, em vez de se limitar esta preocupação ao processo produtivo, como é habitual.

1.2 – Objetivos principais da dissertação

Dos objetivos principais para a elaboração desta dissertação, destacam-se:

- Utilização da arquitetura bioclimática de modo a postular uma metodologia conducente à definição de um edifício industrial, otimizado energeticamente, para qualquer parte do mundo.

² Em Portugal, por exemplo, existe o Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios (RSECE) e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos edifícios (RCCTE).

- Analisar as diferentes medidas, pertencentes à arquitetura bioclimática, que melhor contribuem para minimizar os gastos energéticos associados à climatização de edifícios.
- Determinar quais as opções que apresentam melhores resultados para cada tipo de clima.
- Criar um portefólio de soluções, com inspiração na arquitetura bioclimática, que permita definir um edifício industrial otimizado energeticamente para qualquer clima.

1.3 – Organização da dissertação

Para facilitar a sua leitura, esta dissertação está organizada em cinco capítulos, sendo o **Capítulo I** a nota introdutória ao documento.

O **Capítulo II – Construção sustentável em edifícios industriais** apresenta, de forma sucinta, os elementos ou medidas bioclimáticas existentes, considerando os seus possíveis benefícios e as prioridades que devem existir na análise de qualquer projeto. Este capítulo inclui uma breve revisão bibliográfica dos projetos bioclimáticos existentes e a explicação pormenorizada da metodologia utilizada para a seleção dos climas que foram analisados para esta dissertação.

O **Capítulo III – Modelação energética e otimização multi-critério** apresenta, de forma detalhada, os métodos e a metodologia utilizada para a análise das medidas bioclimáticas aplicadas ao edifício industrial. Este capítulo visa ilustrar os procedimentos realizados e contribuir para estudos futuros desta área, atualmente pouco desenvolvida.

O **Capítulo IV – Análise e discussão de resultados** apresenta e analisa a viabilidade das diferentes medidas de acordo ao clima, e permite ainda conhecer a variação no comportamento desta, segundo onde seja aplicada.

Por fim, o **Capítulo V – Conclusões**, sumariza todo o trabalho empreendido e aponta perspetivas de desenvolvimentos futuros.

Capítulo II – Construção sustentável em edifícios industriais

Este capítulo apresenta uma breve revisão bibliográfica dos projetos bioclimáticos existentes; um resumo dos elementos ou medidas arquitetônicas associadas ao clima, com os seus possíveis benefícios e as prioridades que devem existir dentro da análise de qualquer projeto; e a explicação pormenorizada da metodologia utilizada para a seleção dos climas analisados.

2.1 – Revisão bibliográfica

No contexto do presente estudo, o conceito de arquitetura bioclimática engloba a conceção do projeto, baseado no estudo do clima e as suas variantes, a posição do sol e qual a sua interação com o edifício. Este tipo de arquitetura inclui regras ou conceitos fundamentais (Figura 1), que visam proporcionar as condições de conforto requeridas pelos utilizadores [7], recorrendo, maioritariamente, aos meios naturais.

No passado, arquitetos como *Le Corbusier*, no edifício de *Mill Owners*, em Ahmedabad (1954), *Alvar Aalto*, no *Centro Cultural*, em Wolfsburg (1959), e *Oswaldo A. Bratke*, na *Vila da Serra do Navio* (1992), mostraram o seu interesse pelo clima e pelas estratégias utilizadas para conceber projetos arquitetónicos adaptados ao meio ambiente. Cortinas de vidro, elementos de sombreamento, cavidades *ventiladas* e aberturas, eram parte da filosofia projetual do movimento modernista. Infelizmente, estes elementos foram considerados como parte de um estilo, e aplicados sem relação ao contexto em que se inseriam [8].

O conceito de bioclimatismo surge nesta altura, sendo os seus inícios atribuídos a *Víctor Olgyay*³, que apresenta o livro “*Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*”, em 1963. Nele, *Olgyay* expressa a ligação entre o edifício e a sua envolvente [11], e relaciona os métodos e conhecimentos de transferência de calor e massa, aplicados em quatro regiões climáticas, em função da orientação, forma, ventos predominantes, materiais, entre outros.

³ Arquiteto húngaro radicado nos Estados Unidos (setembro de 1910 – abril de 1970) que em parceria com o seu irmão Aladar, foi considerado um dos responsáveis da formalização do *design* solar passivo ou bioclimático, enquanto disciplina da arquitetura na década de 1950. A nível académico esteve associado à Universidade de Notre Dame, ao Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), à Universidade de Princeton e à Universidade de Harvard 9. University, A.S. **Victor Olgyay - AED Library Collections**. [cited 2012 20/08/2012]; Available from: <http://lib.asu.edu/architecture/collections/olgyay>, 10. AncientFaces, L. **Victor Olgyay (1910 - 1970)**. 1999 [cited 2012 20/08/2012]; Available from: <http://www.ancientfaces.com/research/person/6144069/victor-olgyay-profile-and-genealogy>.

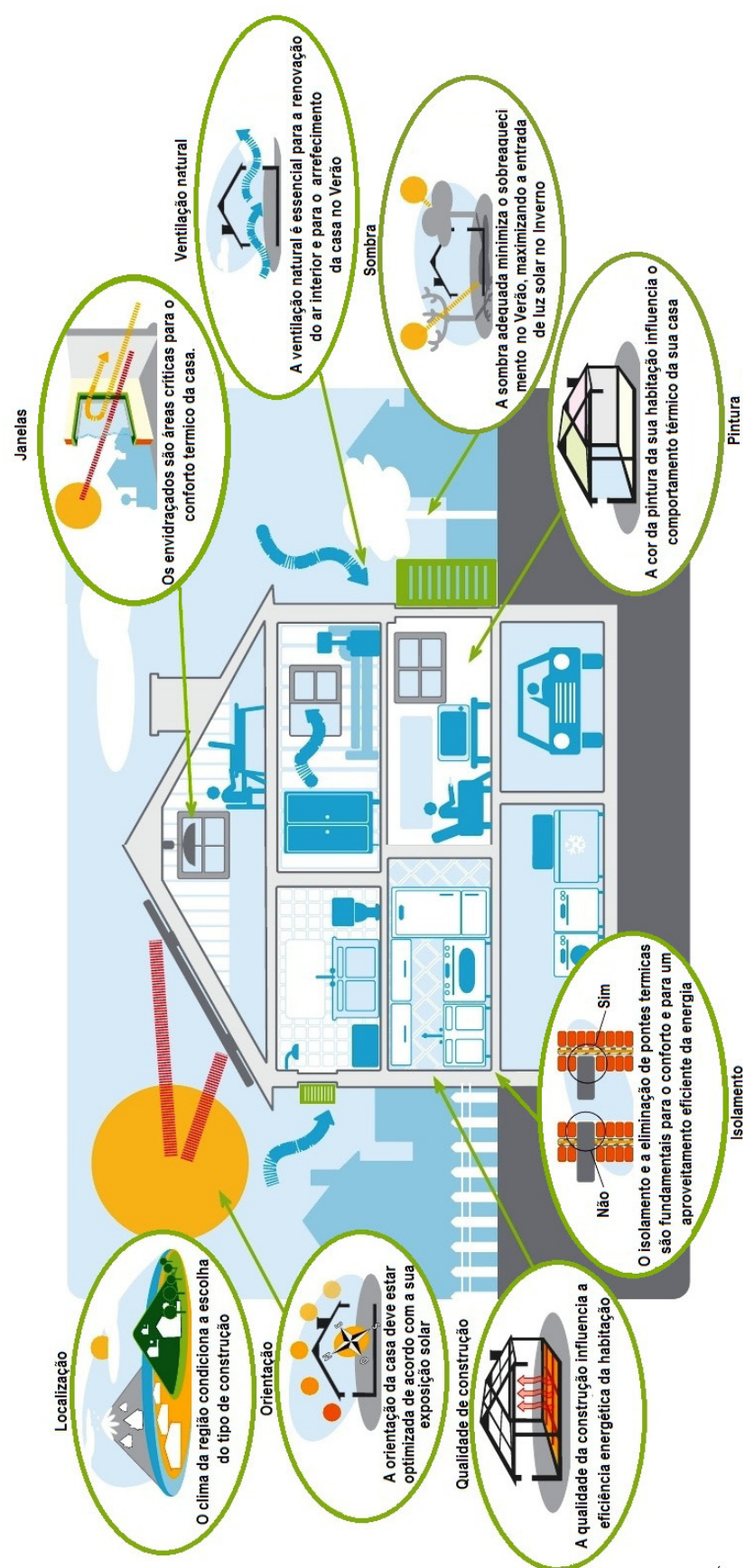


Figura 1: Princípios bioclimáticos [2].

Nesta etapa, a relevância destes fatores, no contexto da arquitetura mundial, era algo limitada. Foram realizados alguns projetos arquitetônicos que demonstraram a eficácia da aplicação dos princípios bioclimáticos e a influência destes no comportamento térmico do edifício [8]. Alguns arquitetos, como *João Filgueiras Lima* (Lelé), *Severiano Porto*, *Leonardo Bittencourt*, *Sergio Pamplona* e *Brian Ford*, entre outros, aplicaram os seus conhecimentos nesta área e a eles se atribui parte deste desenvolvimento. Uma análise aos edifícios permitiu identificar as diferentes estratégias bioclimáticas utilizadas, e desta observação sabe-se que a orientação do edifício, segundo os ventos predominantes, e a posição do sol na fachada são a premissa de qualquer projeto. Estas estratégias deverão ser assistidas com coberturas termicamente isoladas, que permitam refletir os excedentes da radiação solar [8, 12].

Quanto à iluminação dos espaços, esses e outros arquitetos, utilizam prateleiras de luz, venezianas, alpendres, e outros elementos que admitem a passagem e difusão da luz natural para o interior. Beirais, varandas, pérgulas e diferentes painéis são dispostos para dar proteção às áreas envidraçadas, da chuva e da radiação solar, proporcionando um maior conforto térmico. A climatização dos espaços internos pode ser realizada por ventilação cruzada, efeito chaminé, vazios centrais, colchões de ar ventilados, coletores de vento, ou a criação de entrâncias e saliências, que permitam uma maior quantidade de aberturas, melhorando a ventilação, pelo aumento do fluxo do ar, e contribuindo para uma melhor iluminação. Para serem efetivos, o arquiteto dispõe de diferentes elementos, tais como: lanternins, painéis treliçados, alhetas móveis, janelas basculantes ou pivotantes, aberturas laterais e zenitais, peitoris ventilados e elementos vazados em concreto, entre outros. A efetividade destes elementos vai depender, em parte, do tamanho das janelas de entrada, as quais estabelecem o padrão do movimento do ar, e as de saída, que determinam a velocidade do vento [8, 12].

Perante a análise de alguns projetos existentes, é possível constatar a preocupação com a utilização da vegetação existente no local, pois esta contribui para a manutenção da temperatura; de igual forma, as árvores altas permitem a redução da insolação direta sobre a fachada ou telhado. A criação de jardins internos ou espaços verdes possibilita a obtenção de um microclima que controla o movimento do ar que entra e arrefece o ambiente. Por outro lado, o excesso pode afetar a ventilação das diferentes áreas. [8, 12].

O próximo subponto procura compreender o clima e as diferentes medidas que têm vindo a ser utilizadas no contexto genérico de arquitetura bioclimática, explorando a sua adequabilidade à construção.

2.2 – Clima e prioridades de *design*

O clima afeta diretamente as cargas térmicas dos edifícios e, portanto, é um fator determinante e de vital importância no seu comportamento térmico (Figura 2).



Figura 2: Importância do clima para o consumo energético de um edifício.

A iminente necessidade de um melhor desenvolvimento energético por parte das edificações apresenta-se como um desafio no mundo atual: potenciar os aspetos positivos e mitigar os negativos, simultaneamente, mediante a utilização de técnicas passivas e ativas que visem o conforto dos utilizadores.

O estudo bioclimático é parte das técnicas passivas e deve incluir a análise do local no qual se pretende inserir o projeto, para permitir a criação de um edifício que se adapte ao espaço selecionado.

Entre os diferentes métodos que permitem realizar esta análise do local encontra-se a Classificação Climática de *Köppen-Geiger* (Figura 3), sendo este um dos sistemas mais utilizados mundialmente, considerando a sazonalidade e os valores médios, anuais e mensais da temperatura do ar e a precipitação dentro da sua classificação.

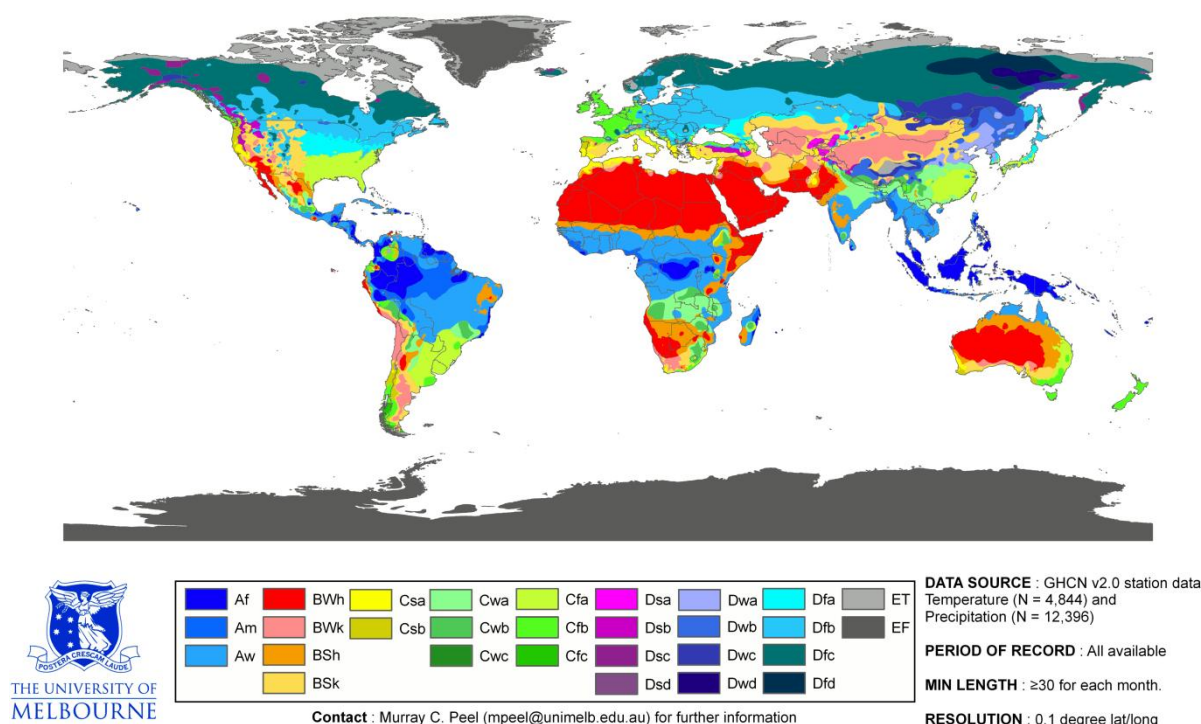


Figura 3: Mapa da classificação climática de Köppen-Geiger [13].

Como exposto na Tabela 1, este sistema divide o clima com base nas características gerais de cada região, originando cinco grandes grupos ou macroclimas: Equatorial (A), Árido (B), Temperado (C), Continental ou Temperado Frio (D) e Glaciar (E). Igualmente, apresenta diversos tipos ou subtipos, classificados por um ou dois caracteres adicionais, segundo as características de cada um, sendo que para os climas A, C e D, a segunda letra é minúscula, e denota a quantidade de precipitação e a distribuição da mesma. Para os climas B e E, esta letra é maiúscula, indicando a precipitação anual para os climas de classificação B, e a temperatura média anual do ar nos climas E. A terceira letra ou caracter é minúscula e indica, nos climas C e D, a temperatura média mensal do ar nos meses mais quentes e, para o clima B, representa a temperatura média anual do ar [13, 14].

Tabela 1: Classificação climática de Köppen Geiger [1, 15].

| Macroclima | | Subtipo | | Critérios |
|--------------------|---|---|-----|--|
| Equatorial | A | Tropical húmido | Af | $T_{\min} \geq +18^{\circ}\text{C}$ $P_{\min} \geq 60 \text{ mm}$ $P_{\text{ann}} \geq 25 (100 - P_{\min}) \text{ (Am)}$ $P_{\text{ann}} < 25 (100 - P_{\min}) \text{ (Aw)}$ $P_{\min} < 60 \text{ mm no verão}$ $P_{\min} < 60 \text{ mm no inverno}$ |
| | | Monção | Am | |
| | | Savana com estação seca de verão | As | |
| | | Savana com estação seca de inverno | Aw | |
| Árido | B | Estepes quentes de baixa latitude e altitude | BSh | $P_{\text{ann}} < 10 P_{\text{Lim}} \text{ (Áridas)}$ $P_{\text{ann}} > 5 P_{\text{Lim}} \text{ (Estepes)}$ $P_{\text{ann}} \leq 5 P_{\text{Lim}} \text{ (Desérticas)}$ $T_{\text{ann}} \geq +18^{\circ}\text{C} \text{ (BSh e BWh)}$ $T_{\text{ann}} < +18^{\circ}\text{C} \text{ (BSk e BWk)}$ |
| | | Estepes frias de média latitude e grande altitude | BSk | |
| | | Regiões desérticas quentes de baixa latitude e altitude | BWh | |
| | | Regiões desérticas frias das latitudes médias ou de grande altitude | BWk | |
| Temperado (Húmido) | C | Com verão quente | Cfa | $-3^{\circ}\text{C} < T_{\min} < +18^{\circ}\text{C}$ $T_{\max} \geq +10^{\circ}\text{C}$ $T_{\max} \geq +22^{\circ}\text{C} \text{ (a)}$ $T_{\text{men}10} \geq +4^{\circ}\text{C} \text{ (b)}$ $+1^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{men}10} < +4^{\circ}\text{C} \text{ (c)}$ $P_{V\min} < P_{I\min}, P_{I\max} > 3 P_{V\min}$ $\text{e } P_{V\min} < 40 \text{ mm (Cs)}$ $P_{I\min} < P_{V\min}$ $\text{e } P_{V\max} > 10 P_{I\min} \text{ (Cw)}$ |
| | | Com verão temperado | Cfb | |
| | | Com verão curto e fresco | Cfc | |
| | | Com verão seco e quente | Csa | |
| | | Com verão seco e temperado | Csb | |
| | | Com verão seco, curto e fresco | Csc | |
| | | Com inverno seco e verão quente | Cwa | |
| | | Com inverno seco e verão temperado | Cwb | |
| | | Com inverno seco e verão curto e fresco | Cwc | |

Tabela 1 (Continuação)

| Macroclima | | Subtipo | | Crítérios |
|---------------------------------|----------|---|-----|--|
| Continental (Temperado Frio) | D | Sem estação seca e com verão quente | Dfa | $T_{\max} \geq +10^{\circ}\text{C}$ $T_{\min} \leq -3^{\circ}\text{C}$ $T_{\max} \geq +22^{\circ}\text{C}$ (a) $T_{\text{men}10} \geq +4^{\circ}\text{C}$ (b) $T_{\min} > -38^{\circ}\text{C}$ (c) $T_{\min} \leq -38^{\circ}\text{C}$ (d) $P_{V\min} < P_{I\min}$, $P_{I\max} > 3 P_{V\min}$ e $P_{V\min} < 40 \text{ mm}$ (Ds) $P_{I\min} < P_{V\min}$ e $P_{V\max} > 10 P_{I\min}$ (Dw) |
| | | Sem estação seca e com verão temperado | Dfb | |
| | | Sem estação seca e com verão curto e Fresco | Dfc | |
| | | Sem estação seca e com inverno muito frio | Dfd | |
| | | Com verão seco e Quente | Dsa | |
| | | Com verão seco e Temperado | Dsb | |
| | | Com verão seco, curto e fresco | Dsc | |
| | | Com verão seco e com inverno muito frio | Dsd | |
| | | Com inverno seco e com verão quente | Dwa | |
| | | Com inverno seco e com verão temperado | Dwb | |
| | | Com inverno seco e com verão curto e fresco | Dwc | |
| | | Com inverno seco e muito frio | Dwd | |
| Glacial | E | Calotes polares | EF | $T_{\max} < +10^{\circ}\text{C}$ $0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < +10^{\circ}\text{C}$ $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ |
| | | Altas montanhas | EM | |
| | | Tundra | ET | |

Uma fábrica pode ser definida como uma unidade de transformação onde, com matéria-prima, mão-de-obra, capital e conhecimentos, são elaborados produtos para o mercado. Esta necessita de estar localizada perto da matéria-prima e da mão-de-obra, e o resto, é transportável. Sendo estes dois últimos, os critérios de maior importância, a seleção dos climas analisados nesta dissertação foi baseada na população existente em cada país (Anexo 1).

Para tal estudo, ponderando as condições climáticas apresentadas, o possível interesse económico de cada zona e assumindo a existência de pouca ou nenhuma população neles, foram eliminados os climas considerados extremos, nomeadamente, aqueles com classificação Glaciar (E), devido às baixas temperaturas; os climas BWh e

BWk, pertencentes ao clima Árido (B), por serem desérticos; e os climas Dfc, Dfd, Dsc, Dsd, Dwc e Dwd, do Continental Temperado Frio (D), visto as temperaturas mínimas rondarem os - 38°C. A densidade populacional foi dividida segundo a quantidade de climas existentes para cada país, atribuindo, portanto, um peso igual para cada um. Importa referir que tal metodologia apresenta uma fraqueza, dada a falta de informação sobre a percentagem que representa cada clima em cada país e/ou a população associada a cada clima.

$$\text{População por clima} = \frac{\text{População total do país}}{\text{Número de climas do país}}$$

O resultado desta análise inicial permitiu obter o *ranking* exposto na Tabela 2, o qual depende da densidade populacional que cada país apresenta em cada clima.

Tabela 2: Importância dos climas segundo a sua população (Elaboração própria).

| Posição | % | % Total | Classificação Clima | População Total |
|--------------|------|--------------|---------------------|----------------------|
| 1 | 9.82 | 9.82 | BSh | 589.663.662 |
| 2 | 9.60 | 19.42 | Aw | 576.179.461 |
| 3 | 8.11 | 27,53 | BSk | 487.003.455 |
| 4 | 7.63 | 35,16 | Am | 457.940.700 |
| 5 | 7.46 | 42,62 | Dfb | 447.705.741 |
| 6 | 7.24 | 49,86 | Cwa | 434.502.129 |
| 7 | 6.58 | 56,44 | Cwb | 394.974.539 |
| 8 | 5.83 | 62,27 | Cfa | 350.055.623 |
| 9 | 5.52 | 67,79 | Dsb | 331.519.092 |
| 10 | 5.06 | 72,85 | Cfb | 303.821.858 |
| 11 | 5.02 | 77,87 | Dfa | 301.616.418 |
| 12 | 4.92 | 82,79 | Csa | 295.386.877 |
| 13 | 3.48 | 86,27 | Dsa | 209.123.046 |
| 14 | 3.48 | 89,75 | Dwb | 208.704.487 |
| 15 | 3.21 | 92,96 | Dwa | 192.940.185 |
| 16 | 2.64 | 95,6 | Af | 158.515.035 |
| 17 | 2.17 | 97,77 | Csb | 129.986.821 |
| 18 | 0.04 | 97,81 | Cfc | 2.636.473 |
| 19 | 2.18 | | S.C ⁴ | 130.716.112 |
| 100 % | | | Total | 6.002.991.716 |

⁴ S.C (Sem Classificação) inclui a população sem clima designado, devido à eliminação destes na contagem inicial, por serem climas com temperaturas ou características extremas.

Com base nos resultados apresentados neste *ranking*, pretende-se realizar um estudo dos climas posicionados nos primeiros dez lugares, os quais representam um valor superior a 70% do total, com 4.373.366.260 de habitantes.

O segundo elemento a avaliar, para o estudo bioclimático, é o grau de importância que possuem as medidas de conforto passivas e ativas, nos diferentes climas.

Referente a este objetivo, *David Lloyd-Jones* [16] publicou uma tabela de base empírica que, com uma classificação de 0 a 7, dá lugar a possíveis referências ao longo desta dissertação (Anexo 2). Na mesma tabela, o autor indica o grau de importância que possuem as medidas de conforto passivas e ativas, nos diferentes climas, segundo o tópico analisado.

Com base nos climas já estabelecidos no *ranking* da Tabela 2, apresenta-se, na Tabela 3, a importância relativa de cada tópico para os climas de maior interesse no estudo desenvolvido. Todavia, esta seleção não pretende limitar a realização de estudos futuros que contemplem outros tipos de climas.

Estas medidas, passivas e ativas, podem ser executadas num edifício através de diferentes componentes. Como já mencionado, a arquitetura bioclimática utiliza os elementos classificados como passivos, e a análise dos mesmos será aprofundada no subponto 2.3 – Técnicas de climatização passiva.

Com o *design* do edifício dependente do clima, às prioridades apresentadas na Tabela 3, adicionam-se considerações gerais e específicas a cada região, microclima ou localização, as quais devem ser analisadas em conjunto, para alcançar a solução que melhor viabilize o desenvolvimento do projeto. Entre estas contemplações, destaca-se a forma do edifício e a sua posição, com base no sol e no vento. Deve-se lembrar que cada localização é particular, mesmo pertencendo a classificações climáticas afins e por tal, as vantagens e desvantagens das medidas bioclimáticas devem ser ponderadas para cada caso apresentado.

Para uma melhor percepção sobre as diferentes medidas existentes na arquitetura bioclimática, e a sua possível aplicação no contexto industrial, apresenta-se o subponto seguinte.

Tabela 3: Grau de importância das medidas passivas e ativas para alguns climas. Adaptação própria com base em [16].

| Medidas de conforto | | (A) Tropical | (A) Savana | (B) Estepes | (C) Temperado | (C) Subtropical | (D) Continental |
|--------------------------------|---|---|------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Passivo | Ativo | Am | Aw | BSh BSk | Cfb Cwb | Cfa Cwa | Dfb Dsb |
| Ventilação natural | | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 4 |
| | Ventilação mecânica | 6 | 6 | 6 | 3 | 5 | 3 |
| Ventilação noturna | | 7 | 7 | 7 | 5 | 7 | 3 |
| | Arrefecimento artificial | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 | 1 |
| Arrefecimento evaporativo | | 2 | 5 | 6 | 2 | 2 | 1 |
| | Arrefecimento gratuito | 6 | 7 | 7 | 3 | 6 | 4 |
| Construção pesada | | 2 | 3 | 5 | 5 | 2 | 6 |
| Construção leve | | 5 | 6 | 4 | 3 | 5 | 2 |
| | Aquecimento artificial | 0 | 2 | 4 | 6 | 0 | 7 |
| Aquecimento solar | | 0 | 2 | 3 | 7 | 0 | 6 |
| | Aquecimento gratuito | 0 | 0 | 3 | 6 | 0 | 6 |
| Calor accidental | | 0 | 1 | 2 | 5 | 0 | 5 |
| Isolamento / Permeabilidade | | 0 | 1 | 3 | 6 | 0 | 7 |
| Controlo do sol / Sombreamento | | 6 | 6 | 7 | 5 | 6 | 4 |
| | Iluminação artificial durante o dia | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 |
| Iluminação natural | | 5 | 5 | 4 | 6 | 5 | 6 |
| Legenda | 0 – Sem importância 7 – Muito Importante | Medidas de eficiência energética constantes onde quer que o edifício esteja localizado Energia incorporada, cinzenta e induzida Gestão do conforto Geração de energia. | | | | | |

2.3 – Técnicas de climatização passiva

Na elaboração de um projeto arquitetónico que vise contribuir de forma passiva para a diminuição do consumo de energia, existem diferentes medidas para o arrefecimento, ventilação e aquecimento dos espaços interiores do edifício.

Todas as medidas encontradas serão apresentadas sumariamente neste capítulo, explorando aquelas que, devido à possível aplicação no contexto industrial, possam ser analisadas no contexto deste projeto.

2.3.1- Arrefecimento e ventilação

Neste tópico são incluídas as medidas passivas que permitem, por ação manual ou de forma automatizada, diminuir a carga térmica no interior do edifício, melhorando o conforto dos utilizadores e reduzindo a quantidade de energia utilizada para tal fim. De seguida, apresenta-se uma descrição das medidas que se consideram de maior importância.

2.3.1.1- Ventilação noturna

Consiste no arrefecimento das superfícies internas de um edifício, através da ventilação natural ou mecânica, durante o período noturno. Esta solução permite tirar mais partido da inércia térmica da construção, contribuindo para a redução dos picos de temperatura do ar nos ambientes internos e para o atraso térmico durante o verão [17].

A sua eficiência baseia-se na diferença relativa entre a temperatura interna e externa apresentada durante o período noturno, e o seu potencial depende do caudal de ar, da capacidade térmica do edifício e o acoplamento adequado entre a taxa de renovação de ar e a massa térmica [18]. É geralmente aplicada em edifícios de escritórios, comerciais e residenciais, e pode apresentar poupanças energéticas entre 10% até 71% [18-21] .

Entre os exemplos de aplicação encontramos alguns edifícios de escritórios, como o *Meletitiki hereafter* e o *University hereafter* em Atenas, o *Observatório Nacional de Atenas* (NOA hereafter) e o edifício *SD Work* in *Kortrijk* na Bélgica, e ainda, um grupo de 214 edifícios residenciais na Grécia, que fazem parte de um conjunto composto por 800 edifícios que funcionam com ventilação nocturna [18, 19, 22].

2.3.1.2- Arrefecimento evaporativo

Esta medida utiliza a água como meio de evaporação e absorve energia sob a forma de calor latente, aumentando a humidade do ar e refrigerando o ambiente (Figura 4). Deve-se considerar a existência de uma boa superfície de contacto entre ar e água, o estado de agitação desta e a incidência do vento para propiciar uma boa evaporação. Esta medida pode ser aplicada em coberturas e fachadas [23].

Com base em algumas análises, prevê-se uma poupança de energia entre 52% e 85%, e a sua aplicação compreende geralmente edifícios de escritórios, como por exemplo, a sede da *Corporacion Venezolana de Guayana* na Venezuela (CVG) [24, 25].

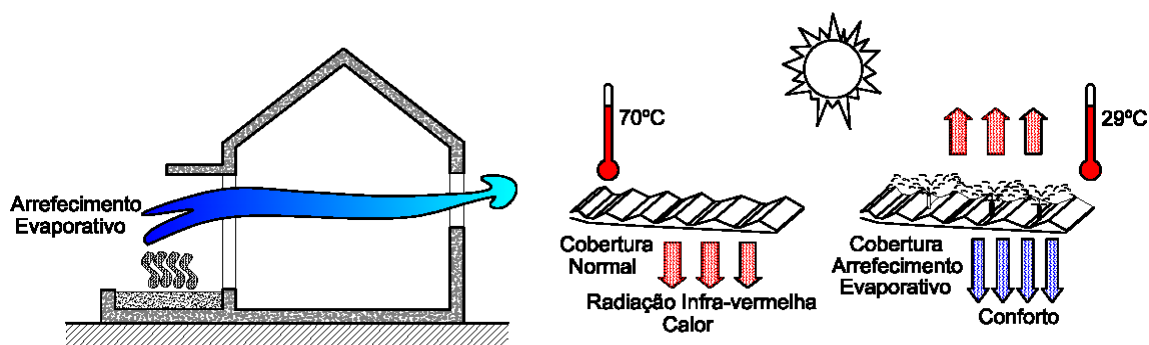


Figura 4: Exemplos de arrefecimento evaporativo [7, 26].

2.3.1.3- Torre de vento

Utilizada para promover a deslocação de ar no interior do edifício, consiste numa torre que se eleva sobre a cobertura do edifício (Figura 5), captando o ar que é conduzido para a parte mais baixa do mesmo através de condutas internas. Quando a direção do vento é constante, a torre apresenta apenas uma abertura nessa direção, mas caso existam várias direções predominantes, possui diferentes entradas de ar na parte superior da mesma, ou, em alternativa, podem ser construídos vários captadores [27, 28].

De acordo com [28], a torre de vento pode funcionar com velocidades relativamente baixas, sempre que a temperatura dentro da torre seja diferente da temperatura externa, pelo que o ar quente circula continuamente (Figura 5), e os valores de poupança atribuídos a esta medida oscilam entre 7% a 38% [29, 30].

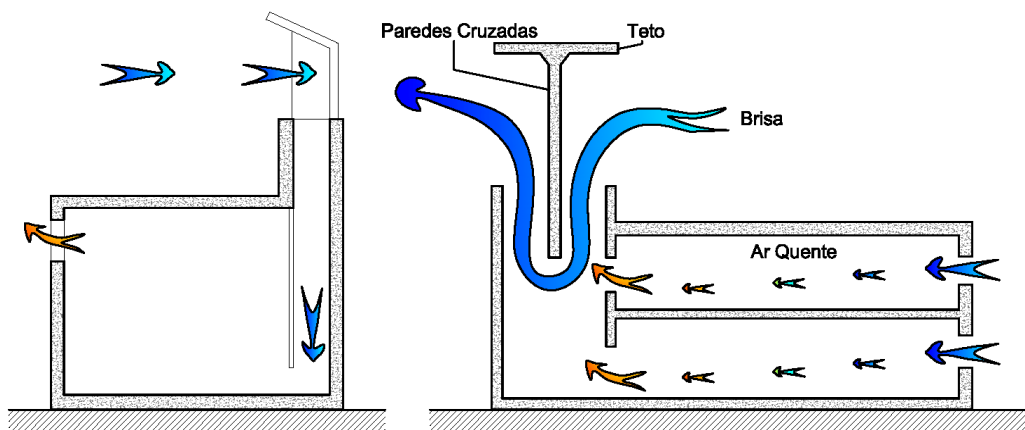


Figura 5: Exemplos dos diferentes tipos de torre de vento [23, 28].

2.3.1.4- Chaminé solar

Nesta medida, uma câmara solar⁵ permite aquecer o ar para diminuir a sua densidade e produzir um efeito de sucção, o qual extrai o ar interior e introduz ar exterior, por meio das aberturas inferiores colocadas no edifício. Devem ser sempre orientadas de acordo com a máxima radiação solar, a norte ou a sul⁶, possibilitando uma combinação destas com as orientações, para leste e oeste, conforme o horário de utilização do edifício [27]. Esta medida pode ser executada na cobertura, ou como um elemento integrante da fachada (Figura 6). Apresenta poupanças energéticas entre 11% e 65,8%, e podem ser aplicadas em edifícios de escritórios, comerciais ou residenciais [31-33].

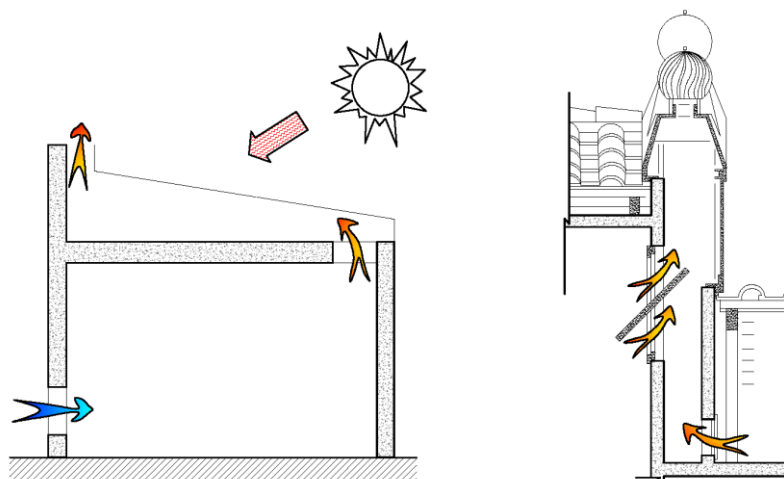


Figura 6: Exemplos de aplicação da chaminé solar [7, 23].

⁵ Elemento ou espaço que possui um captador solar de cor escura, ou paredes com esta característica, protegido por uma cobertura de vidro [27]. Florensa, R.S. and H.C. Roura, *Arquitectura y Energia Natural*, U.P.d. Catalunya, Editor 1995: Barcelona.

⁶ Para mais informação sobre o assunto ver Anexo 3: Considerações relativas à localização do edifício.

2.3.1.5- Sombreamento

Os elementos de sombreamento nas fachadas são uma componente a ter em conta na maioria dos climas, excetuando aqueles muito frios, com o objetivo de garantir o bom comportamento térmico do edifício. A seleção, a forma e a orientação destes vai depender, em grande parte, dos fatores climáticos aos quais o edifício esteja exposto. O tipo de clima e o grau de exposição solar do local, incluindo as diferentes alturas e azimutes do sol, durante o ano, são de vital importância nesta análise [23].

O sistema de sombreamento utilizado pode variar entre vegetação, conceção arquitetónica e elementos construtivos acessórios, isto segundo as necessidades apresentadas em cada local e no tipo de edifício [23]. As poupanças energéticas atribuídas a estes elementos vão de 11,2% até 42% e são aplicados maioritariamente em edifícios residenciais [34, 35], porém, esta medida devia ser aplicada em qualquer tipo de edifício, desde que o clima assim o permita.

A vegetação pode incluir árvores de folha caduca nos climas frios e temperados (Figura 7), considerando as distâncias mínimas para evitar excesso de humidade. As planícies cobertas de relva perto do edifício e as árvores localizadas a leste e a oeste, contribuem para a absorção da radiação solar e sombreamento nos climas temperados. Nas regiões com climas quentes e áridos, a vegetação é igualmente importante dada a absorção da radiação, a evaporação e o sombreamento que possuem. Nos climas quentes e húmidos, as árvores devem ser altas e estarem localizadas a uma certa distância do edifício para permitir a passagem do ar [36].

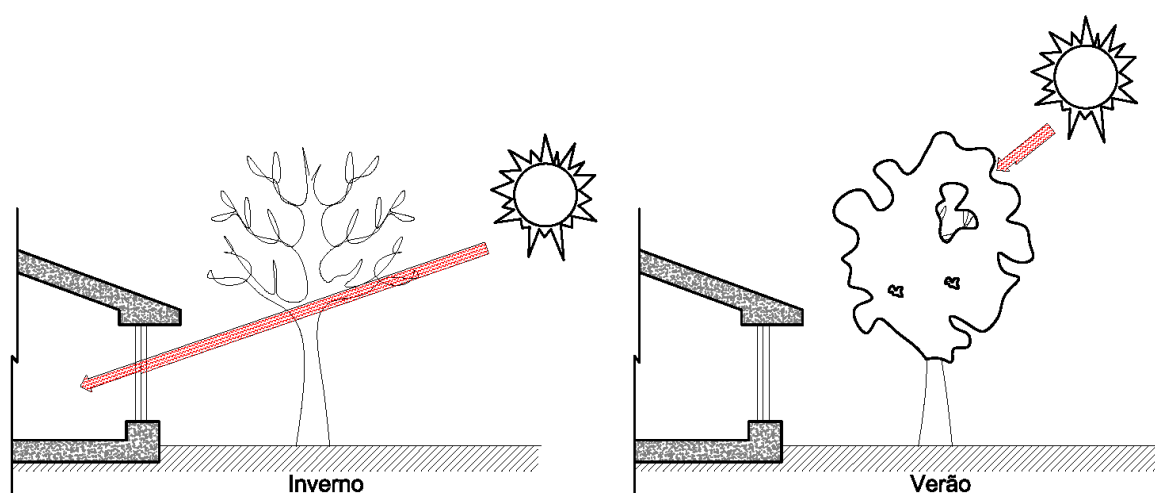


Figura 7: Utilização da vegetação como elemento de sombreamento [28].

Quanto à conceção arquitetónica, o sombreamento é conseguido através da diferente orientação dos vãos, segundo a trajetória do sol; da posição do edifício comparativamente à de outros; e segundo as sombras geradas pela própria volumetria do elemento em estudo [23].

Finalmente, os elementos construtivos acessórios podem incluir elementos fixos ou móveis, verticais ou horizontais, sólidos ou perfurados, tais como palas, estores, elementos internos, entre outros (Figura 8). Estes, devem ser localizados, preferivelmente, no exterior do vão envidraçado, para evitar o risco de sobreaquecimento no verão [23].

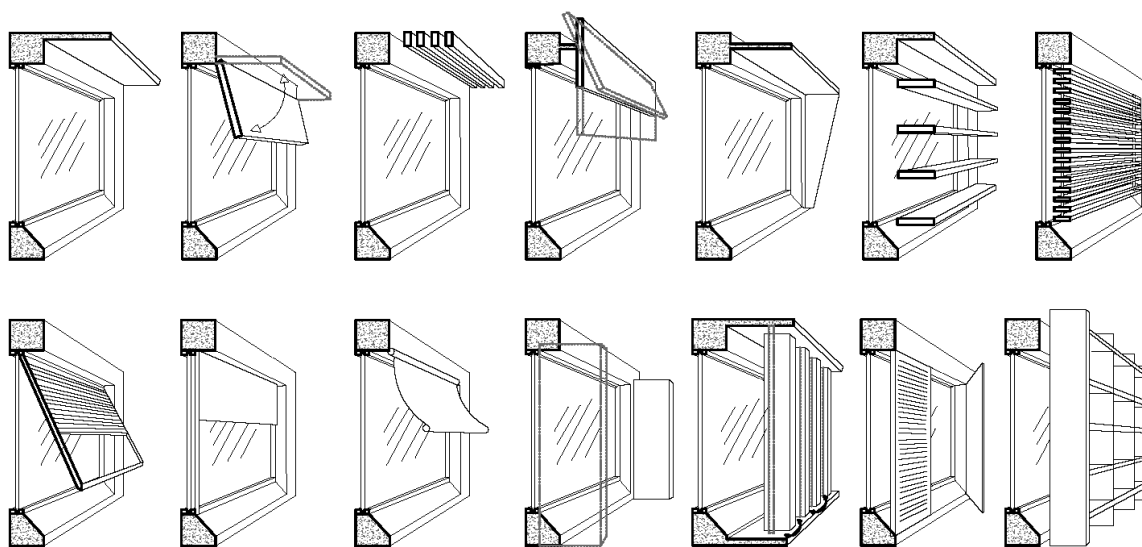


Figura 8: Exemplos dos diferentes elementos de sombreamento [23].

2.3.2- Aquecimento

Ao invés do exposto no tópico de Arrefecimento e Ventilação, a finalidade das medidas aqui referidas prende-se com o armazenamento da energia que vem do sol, sob a forma de calor, para ser utilizada diretamente ou posteriormente durante o período noturno.

Algumas das medidas mais conhecidas serão brevemente descritas a seguir.

2.3.2.1- Estufa

É uma habitação criada a partir de pequenos elementos estruturais de suporte e grandes vãos envidraçados, concebida para maximizar os ganhos solares do edifício (Figura 9). Deve estar orientada para a direção que recebe maior radiação durante o ano, a

norte ou a sul⁷, possuir uma estrutura otimizada que evite as perdas, e incluir um material transparente que se adapte às necessidades do projeto, pois das características e propriedades deste, depende a intensidade do efeito de estufa gerado [Colás 1987 apud 23]. Segundo a sua posição, a estufa pode ser classificada como adossada, integrada ou átrio [23]. Apresenta médias de 67% na poupança de energia, e são geralmente aplicadas a nível comercial para plantações, hortos, entre outros [37, 38].

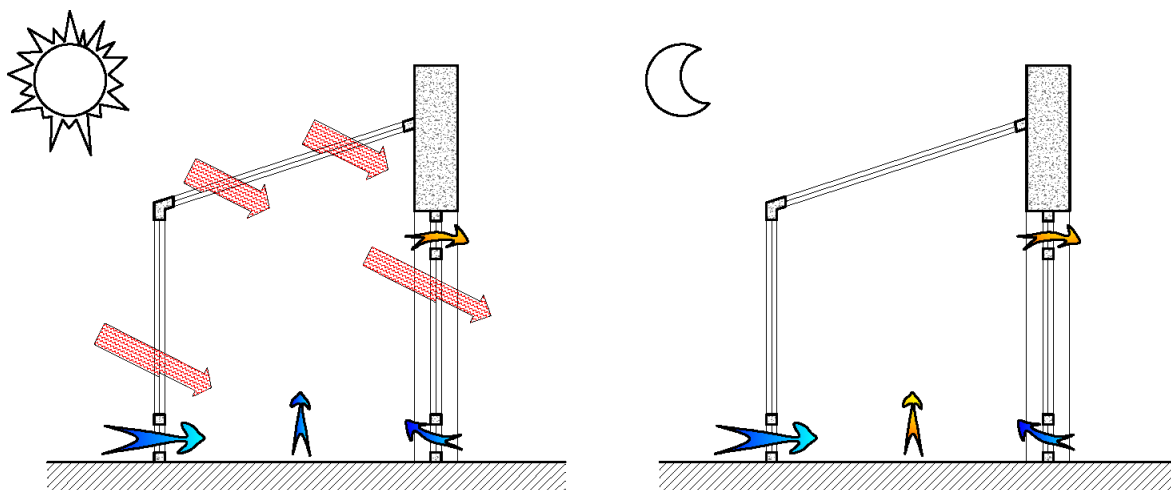


Figura 9: Esquema de comportamento de uma estufa [23].

2.3.2.2- Parede de trombe

A parede de Trombe é uma das técnicas que maximiza a rentabilidade da utilização da massa térmica como solução construtiva, consistindo numa parede entre 10 a 41 cm de espessura, orientada para a maior radiação solar e dotada de uma superfície envidraçada no exterior (Figura 10). Composta por materiais com boa capacidade de armazenamento térmico, como a pedra, o betão ou o tijolo, e com revestimento externo de cor escura para aumentar o coeficiente de absorção e os ganhos caloríficos. O vidro pode ser de superfície simples ou dupla, ter um espaçamento entre 2 a 20 cm da parede, com o intuito de constituir uma caixa-de-ar entre estes elementos, evitando a perda da radiação térmica e potenciando o efeito de estufa. Deve ser calculada com base no desfasamento pretendido, normalmente entre 8 a 12 horas, para garantir, durante a noite, a devolução do calor obtido durante o dia [23, 39]. Apresenta uma poupança energética variável entre 32% e 45% e pode ser aplicada em edifícios comerciais e residenciais [40-42].

⁷ Para mais informação, consultar Anexo 3: Considerações relativas à localização do edifício.

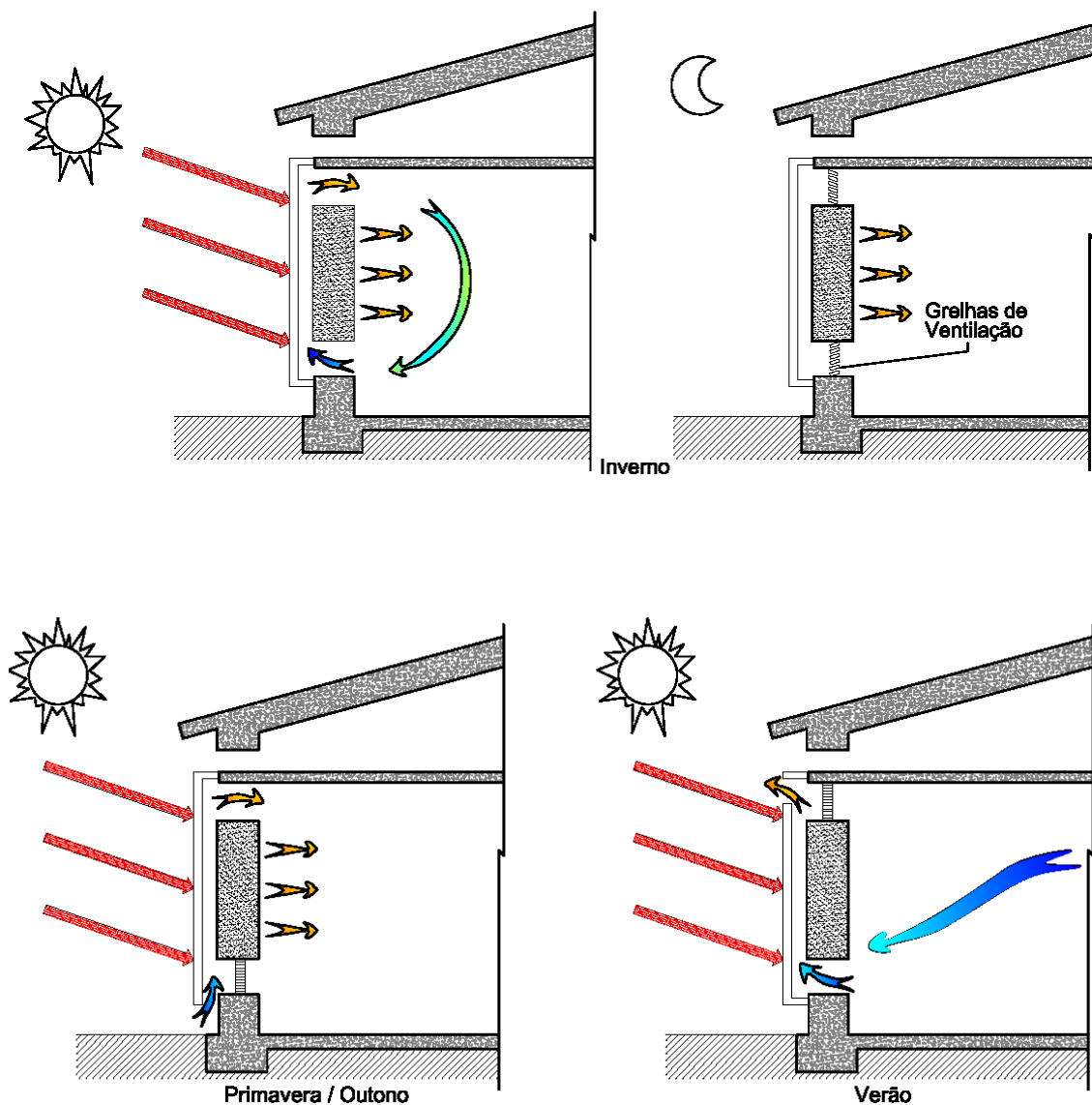


Figura 10: Esquema de funcionamento da parede de Trombe para inverno, Primavera/Outono e verão [43].

Uma modificação que se pode apresentar nesta solução construtiva são as aberturas de ventilação superiores e inferiores (Grelhas de Ventilação, ver Figura 10). Estes permitem que a parede opere como um sistema combinado de radiação e convecção, e atrase a onda de calor durante o dia. Estas aberturas contribuem para o aquecimento dos espaços internos e são aconselháveis quando a zona onde se utiliza apresenta ocupação diurna [23, 39].

2.3.2.3- Solarwall

São elementos metálicos perfurados (Figura 11), instalados a uma certa distância das paredes exteriores, com a finalidade de gerar uma cavidade de ar e permitir o aquecimento deste, antes de ser introduzido no edifício. Reduzem o consumo de energia entre 12,2% a 50% e podem ser aplicados em edifícios residenciais, comerciais, de escritórios ou industriais [44].

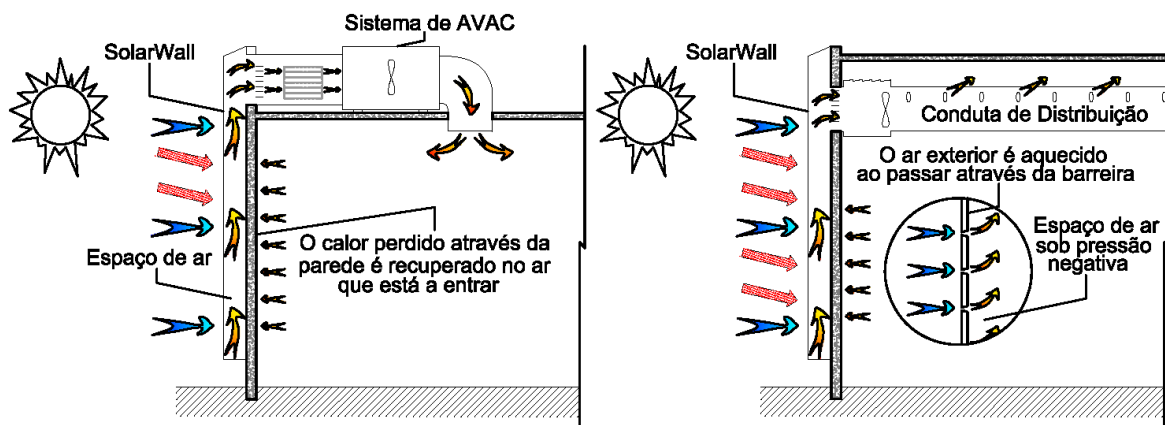


Figura 11: Diferentes tipos de aplicação de uma SolarWall [45].

Uma vez aquecido, o ar pode ser distribuído dentro do edifício por meio do sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), ou pela utilização de ventiladores e condutas perfuradas. Este sistema adapta-se facilmente a diferentes condições, segundo a localização do edifício, e permite a sua instalação em paredes ou coberturas [44].

Entre os exemplos de aplicação tem-se: edifícios industriais, como o *Cicame Energie Inc.* no Canada (Quebec), o *Godyear Tire* em Alberta (Medicine Hat), a *Toyota Motors Manufacturing France* na França (Valenciennes); edifícios residenciais, como o *Moss Park – Toronto Community Housing* no Canada (Ontario), *Place Nolin* no Canada (Ontario); edifícios de serviço ou comerciais, como o *Plattsburgh International Airport* em Nova Iorque (Plattsburgh), o *Dr. David Suzuki Public School* no Canada (Ontario), o *Gymnase Layon* na França; e edifícios de escritório como o *NREL – Research Support Facility* nos Estados Unidos (Colorado) [44].

2.3.2.4- Isolamento da fachada

O isolante térmico é um material, ou a combinação de vários, que reduz a transferência de calor por condução, convecção e radiação nos edifícios, contribuindo para a diminuição da carga a climatizar. Podem ser orgânicos, inorgânicos e metálicos, entre

outros (Figura 12), e possuem uma baixa condutividade térmica que, com a espessura da parede, deve resultar numa solução de elevada resistência térmica. Estes podem apresentar uma poupança energética de 20% até 79% das necessidades do edifício [46-48].

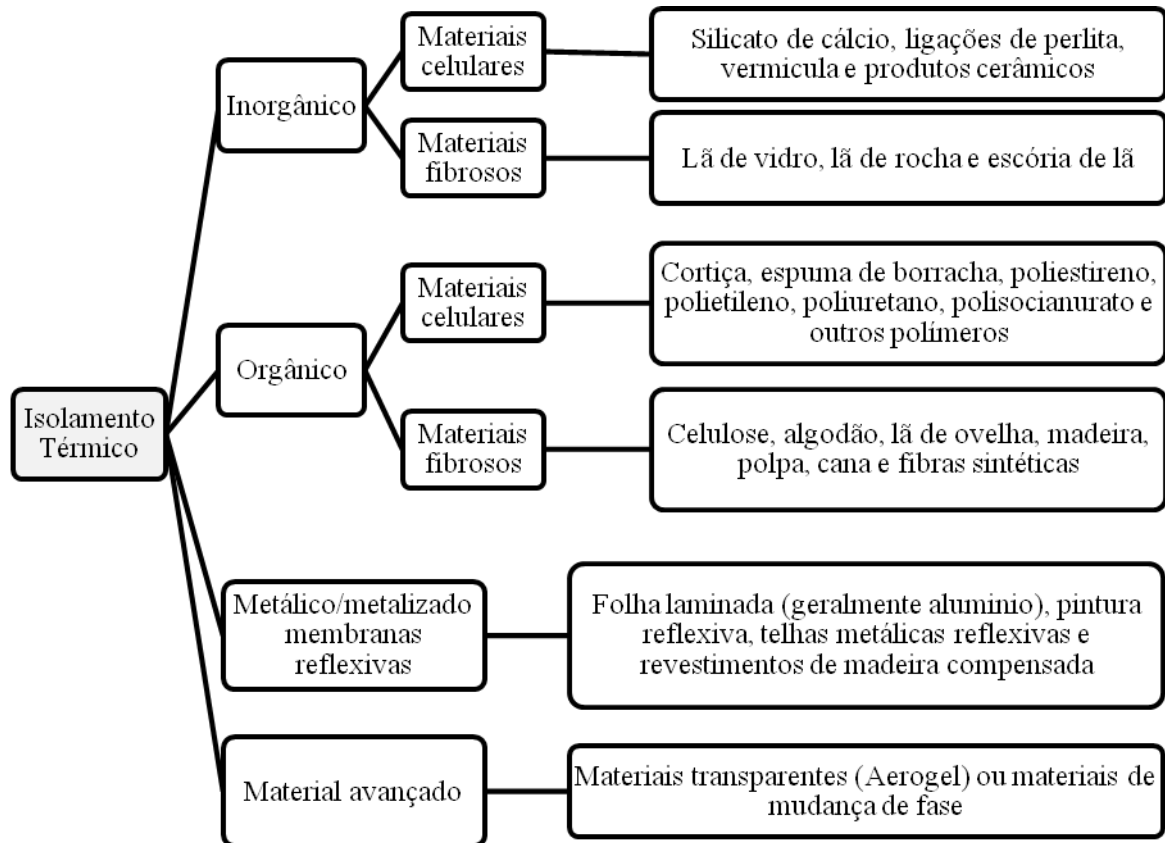


Figura 12: Diferentes tipos de isolamento térmico [46].

A seleção do tipo de isolamento pode depender de fatores térmicos e ambientais, bem como, dos impactos na saúde e no custo-benefício que estes possam apresentar [46]. A sua instalação varia de acordo com o tipo de estrutura e o material isolante a ser aplicado. O mesmo pode ser colocado no interior, no meio ou no exterior das paredes do edifício (Figura 13), sendo esta última opção, a mais recomendada na aplicação das medidas de aquecimento solar passivo [48].

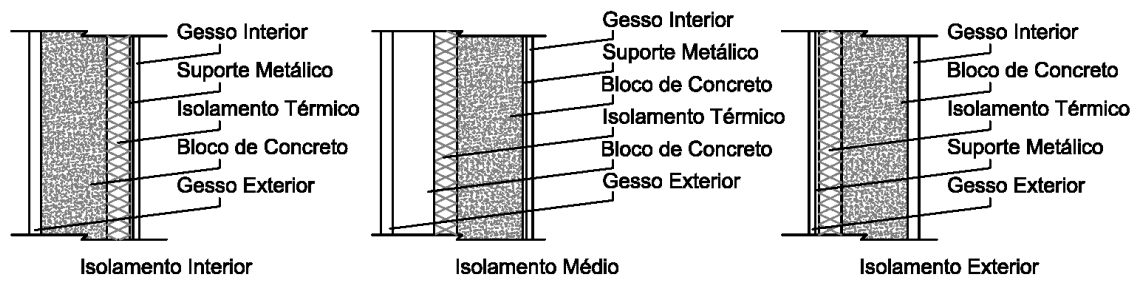


Figura 13: Diferentes formas de colocação do isolamento na fachada [48].

2.3.3- Outros sistemas

Além das medidas já referidas, existem outras que, sendo elementos agregados, sobrepostos ou secundários, podem contribuir de igual forma para a redução do consumo energético, sendo elas as descritas de seguida.

2.3.3.1- Parede de água

Esta técnica consiste na exposição solar de contentores ou recipientes de cor escura com água (Figura 14). Com uma capacidade de armazenamento cinco vezes superior ao betão, e dez vezes superior às paredes de tijolo furado, a transferência de calor é mais rápida, se o sistema não estiver isolado, quando comparadas com as paredes de trombe [23].

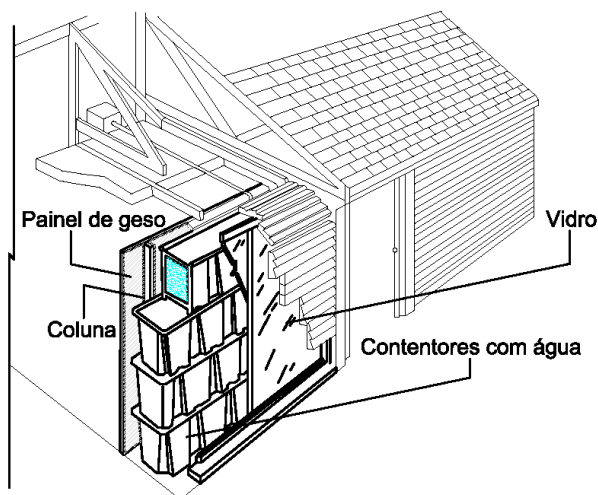


Figura 14: Esquema de funcionamento de uma parede de água [47].

2.3.3.2- Fachada dupla ventilada

É uma dupla envolvente separada por um espaço de ar, de profundidade variável, que cria um efeito de chaminé solar, permitindo aquecer o ar antes de este entrar no edifício [49]. Apresenta poupanças energéticas de 3% até 67% para as necessidades de aquecimento [50, 51] e de 10% a 40% para as necessidades de arrefecimento [46, 52].

Pode ser aplicada em edifícios residenciais, de escritório ou comerciais [50, 52, 53], e a sua configuração vai depender do espaço entre as fachadas, os materiais utilizados em cada uma delas, a proporção existente entre vidro e parede, assim como, os elementos de sombreamento selecionados. Este tipo de fachada contribui para a ventilação natural do edifício (Figura 15), para a redução da propagação dos ruídos do exterior para o interior, e para a proteção do edifício da ação direta do clima [49, 50, 52, 53].

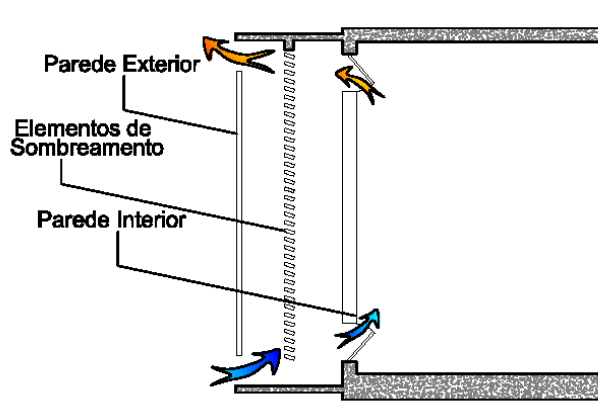


Figura 15: Esquema de funcionamento de uma fachada dupla ventilada [54].

Segundo o *design*, o clima e o tipo de utilização do edifício, a fachada exterior pode estar constituída por elementos sólidos mas, geralmente, esta é criada a partir de grandes áreas de envidraçado, apresentando edifícios com aparência transparente, permitindo mostrar a fachada interior [49]. Entre os exemplos de aplicação, destaca-se o edifício da *Siemens* em *Dortmund*, o edifício da *Victoria Insurance Company* em *Düseseldorf* e a torre *RWE* em *Essen* [55].

2.3.3.3- Cobertura ajardinada

Além de promover a requalificação ambiental e o aumento das áreas verdes nos centros urbanos, as coberturas ajardinadas absorvem parte da radiação solar incidente,

contribuindo para a diminuição da temperatura superficial, dado o arrefecimento passivo e a sombra gerada. Não atuam como isolantes térmicos mas, devido à capacidade de armazenamento de calor, reduzem os ganhos excessivos durante os períodos mais quentes e amortecem as ilhas de calor [56].

Segundo a sua composição (Figura 16) são classificadas em extensivas e intensivas. As extensivas representam menor carga para a estrutura (entre 70 a 170 kg/m²), possuem uma camada fina de substrato e menores custos de implementação e manutenção. Porém, as intensivas representam uma carga significativa para a estrutura (entre 300 a 900 kg/m²) e têm uma camada de substrato maior, apresentando custos de implementação e manutenção mais altos [56].

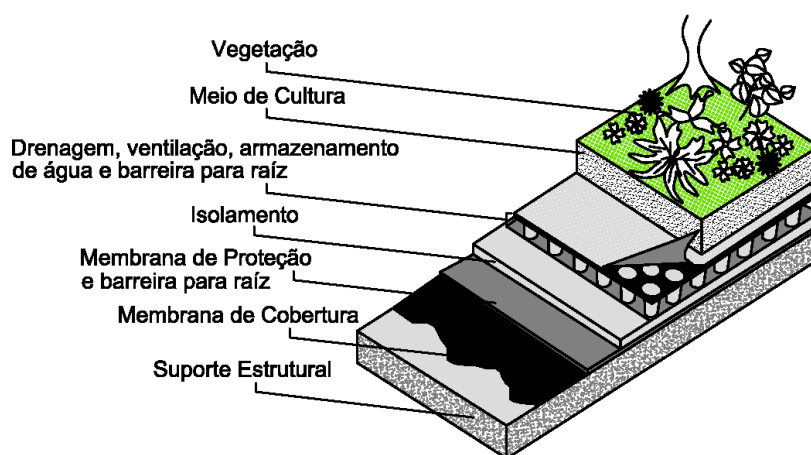


Figura 16: Esquema geral de uma cobertura ajardinada [57].

Estas podem apresentar poupanças energéticas entre 2% e 47%, para as necessidades de aquecimento [58, 59], e de 4% a 87%, para as necessidades de arrefecimento [60, 61], sendo aplicadas em edifícios residenciais (como a *Walter House* de *Frank Lloyd Wright* em *Iowa* ou a *Maison Jaoul* de *Le Corbusier* em *Paris*), ou de escritórios, comerciais, ou de serviços (como a prefeitura de *Chicago* nos *Estados Unidos*, a fábrica da *Ford* em *Michigan*, o *Acros Fukuoka* em *Japão*, entre outros) [56].

2.3.3.4- Lanternins

São aberturas localizadas no telhado, verticais ou muito inclinadas (Figura 17), que permitem a iluminação natural dos espaços internos, dirigindo a radiação solar para uma parede de armazenamento térmico. A sua principal desvantagem é ser eficaz apenas em edifícios de poucos pisos ou só nos últimos pisos, dada a sua localização [23].

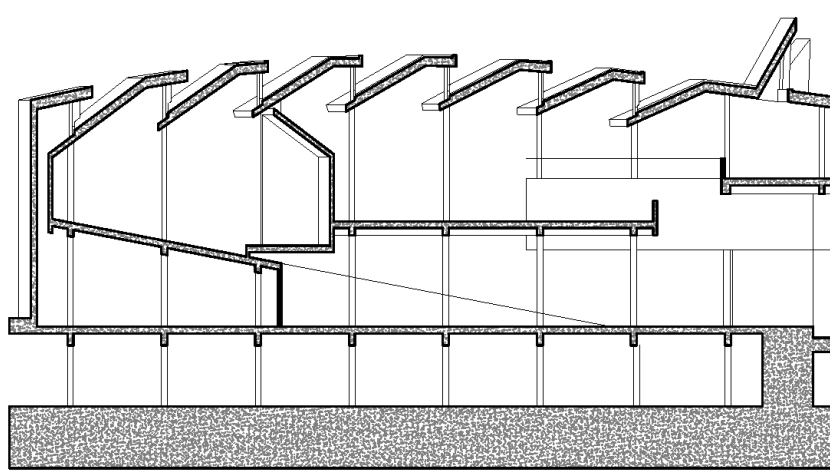


Figura 17: Corte esquemático de um edifício com lanternins [23].

A análise das medidas expostas permite constatar que a determinação das prioridades arquitetônicas ou de *design*, assim como o conhecimento integral sobre os benefícios que estas podem apresentar, contribuem para o correto desenvolvimento de qualquer projeto. A sua implementação deve ser avaliada previamente, segundo o clima do local, as características do edifício a construir, e outros elementos já descritos neste capítulo, com o intuito de maximizar o rendimento do edifício e diminuir as perdas de energia por condução.

Capítulo III – Modelação energética e otimização multi-critério

O projeto de um edifício, na ótica da arquitetura bioclimática, deve ter em conta a utilização final deste, a sua capacidade de adaptação ao meio ambiente e o comportamento energético do conjunto de medidas a aplicar.

Este capítulo apresenta de forma detalhada os métodos e a metodologia utilizada, com o intuito de esclarecer qualquer dúvida que possa existir sobre os procedimentos realizados, e contribuir para estudos futuros desta área, atualmente pouco desenvolvida.

O esquema mostrado na Figura 18 expõe, de forma sucinta, as etapas executadas que, posteriormente, serão abordadas com maior detalhe.

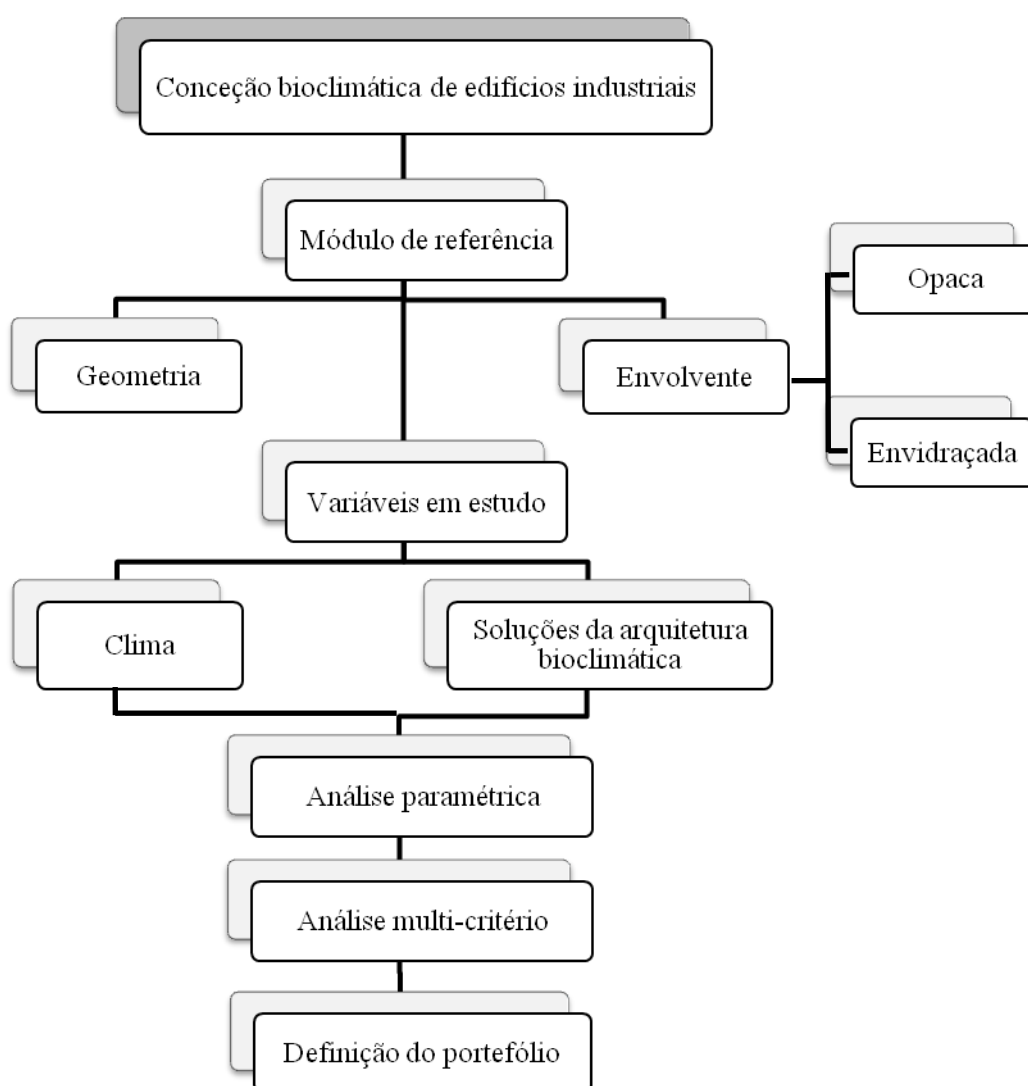


Figura 18: Metodología para a conceção bioclimática de edifícios industriais.

3.1 – Módulo de referência

A caracterização tipológica de um edifício permite definir alguns parâmetros específicos, nomeadamente a geometria e a sua envolvente, com o intuito de analisar e comparar o comportamento térmico do edifício nos diferentes cenários selecionados.

Uma fábrica é composta por diferentes espaços (como a administração, a área de armazenamento, a área de produção, entre outros), e o edifício industrial deve ser projetado segundo o fluxo de produção que este apresente, existindo, contudo, uma flexibilidade que permita tipificar a sua forma e volume⁸ [62].

Uma vez analisado o panorama português no que concerne à definição de uma nave industrial típica, e constatando-se a inexistência de tal informação [63, 64], foi necessário recorrer a uma análise mais global. Procede-se, portanto, à recolha de informação, dentro do setor da construção industrial (Anexo 5), e à utilização da informação constatada no trabalho de *Pablo Aleksitch*, na sua dissertação “*Arquitetura da indústria*” [62], para definir 1.036,8m² de área como módulo de referência. A descrição dos parâmetros correspondentes à geometria e à envolvente, para a análise realizada, são apresentados a seguir.

3.1.1- Definição geométrica

O módulo de uma nave industrial típica apresenta dimensões que variam dos 14,40m aos 24m. O edifício deve ser rectangular (de proporções aproximadas ao quadrado), e com um único nível (devido à diversidade de ocupação que permite). A implementação de formas longas e estreitas, ou de dimensões maiores de tal módulo, podem significar perdas económicas, enquanto que grelhas menores podem eliminar a flexibilidade dos espaços [62].

Considerando a área definida, as dimensões típicas da grelha e as possíveis combinações destas, determina-se como o elemento que melhor se adapta às condições estabelecidas, um módulo de 24m de largura por 43,2m de comprimento (Figura 19 letra E).

⁸ Segundo a sua estrutura em planta, estas podem ser divididas em aditivas (elementos individuais executados e conectados segundo o requerimento da fábrica) ou integrativas (incorporam todas as funções do processo industrial num único edifício). Quanto ao número de pavimentos, os edifícios industriais classificam-se em verticais, horizontais e galpões 62. Padin, P.A., *Arquitetura da Indústria*, in *Faculdade de Arquitetura e Urbanismo* 2009, São Paulo. p. 278.

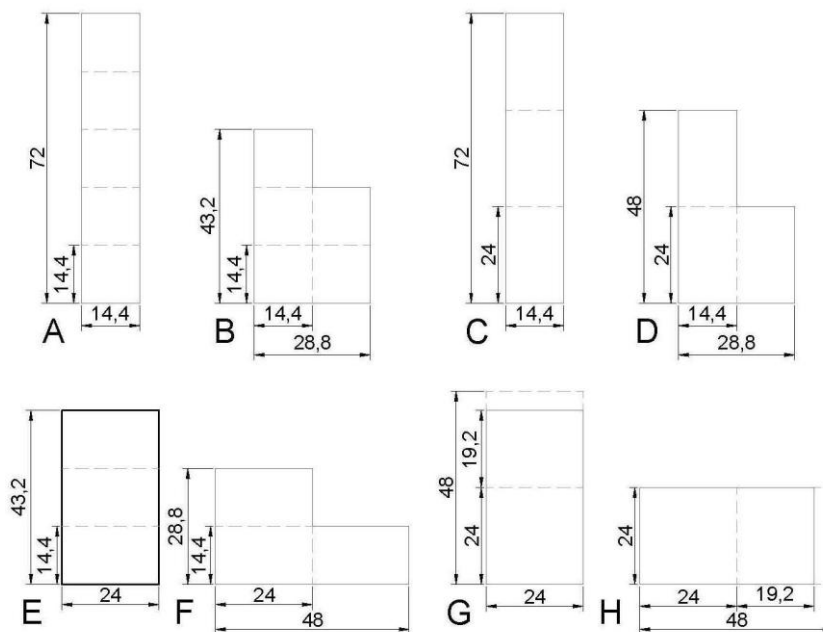


Figura 19: Diferentes modulações segundo as dimensões da grelha industrial.

Relativamente à altura do pé-direito, alguns regulamentos estabelecem como altura mínima os 4m, permitindo uma redução até 2,7m em áreas de pequenas atividades produtivas [62]. Ponderando estes valores, e a possível existência de áreas com dois níveis, estabelecem-se 6m de pé direito como altura do módulo industrial.

3.1.2- Definição da envolvente

A envolvente compreende todos os componentes da estrutura de um edifício. Classifica-se em opaca (que inclui paredes, teto, piso, portas, entre outros) e transparente (janelas e outros elementos envidraçados ou translúcidos), e pode apresentar diversos materiais, técnicas ou elementos construtivos, segundo a tipologia, finalidade e função do edifício projetado.

3.1.2.1- Envolvente opaca

No caso do edifício industrial, a determinação da envolvente pode estar fortemente influenciada segundo o tempo e custo de construção das opções existentes. O edifício típico com cobertura de aço e betão reforçado, com claraboias voltadas à maior incidência solar, foi completamente ultrapassado devido à luz difusa e de péssima qualidade que apresentava. Assim, encontram-se as telhas metálicas ou painéis *sandwich* como uma das opções proeminentes para este tipo de edifício, sendo estas de um material leve, económico, de fácil e rápida instalação e com alta capacidade autoportante [62].

3.1.2.1.1- Paredes

O painel tipo *sandwich* para a fachada ou paredes internas é constituído por uma lâmina metálica exterior de 0,6mm, uma camada de isolamento de 40mm (no módulo de referência) e uma lâmina metálica interior de 0,4mm [65]. O valor U atribuído é 0,541 (W/m²)/°C [66] e a área correspondente às paredes externas é de 259,2m² para norte e sul, e 144m² para leste e oeste.

3.1.2.1.2- Cobertura

Para a cobertura, o painel tipo *sandwich* é constituído por uma lâmina metálica exterior de 0,45mm, uma camada de isolamento de 40mm (no módulo de referência) e uma lâmina metálica interior de 0,4mm [65]. O valor U atribuído é 0,555 (W/m²)/°C [66] e a área total coberta são 1.036,8m².

3.1.2.1.3- Pavimento

Um pavimento industrial pode ser composto por uma laje de betão, de 12,5cm a 25cm, seguido de uma camada fina de poliuretano que serve de primário (quando necessária), uma camada base de poliuretano, de 4,5mm a 9mm, e uma ou duas camadas de selagem, revestimento ou betonilha de resina sintética, de 0,2mm a 0,25mm, de espessura [67-69]. O valor U atribuído é 0,811 (W/m²)/°C [66] e a área total de pavimento são 1.036,8m².

3.1.2.1.4- Portas

As dimensões de uma porta industrial dependem da função da mesma, porém, e sob tal consideração, determina-se a localização de duas portas de 5m de largura e 4m de altura cada uma, localizadas a norte o sul⁹, para uma área total de 40m². O valor U atribuído é 1,135 (W/m²)/°C [66].

3.1.2.2- Envolvente envidraçada

A existência, disposição e forma de elementos transparentes no edifício industrial depende, igualmente, da finalidade e função executada. Para o modelo de referência, e sob considerações económicas, determina-se a aplicação de janelas tipo basculante, de 1m de largura por 1m altura, com vidro simples e caixilho de alumínio com corte térmico. O valor

⁹ Hemisfério norte: a maior incidência solar encontra-se no sul, e os ventos frios, os quais se devem evitar, provém do norte.

Hemisfério sul: a maior incidência solar é do norte, e os ventos frios vêm do sul 70. *Energua*, in *Indústria e Ambiente e Construção Magazine* 2010: Porto. p. 64.

U atribuído é $6,08 \text{ (W/m}^2\text{)/}^\circ\text{C}$, o Coeficiente de Ganho de Calor Solar (SHGC) é 0,77, e a área de ocupação é igual ao 15% da parede, para norte e sul (38m^2), e 10% para leste e oeste (14m^2) [66].

De forma sucinta, o modelo de referência é apresentado na Figura 20 e na

Tabela 4. O desenho da nave industrial é meramente referencial, não sendo limitante quanto à disposição ou localização de alguns componentes, e mostrando apenas as áreas atribuídas a cada um destes.

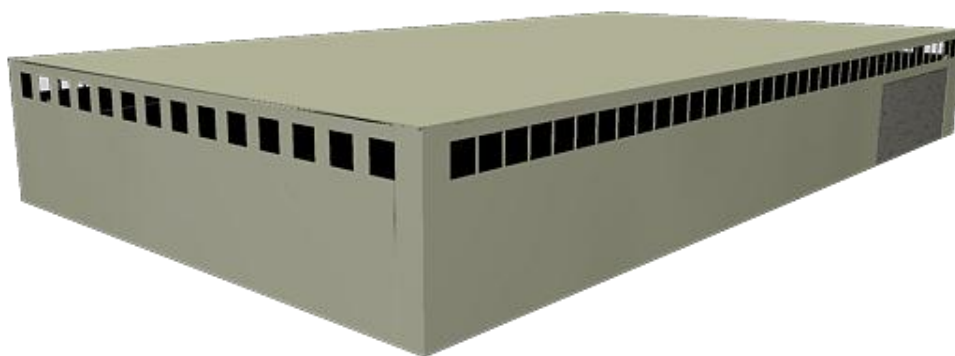


Figura 20: Modelo de referência.

Tabela 4: Tabela resumo e desenho do modelo de referência.

| Componentes | | Nave Industrial |
|-------------|----------------------|--|
| Geometria | Forma | 24m de largura e 43,2m de comprimento. |
| | Altura de Pé Direito | Considerando a possível existência de áreas com dois níveis, cada um com 2,7m de pé direito, estabeleceram-se 6m de pé direito como altura da nave industrial. |
| Envolvente | Opaca | Parede norte / sul: $259,2\text{m}^2$ leste / oeste: 144m^2 |
| | | Cobertura $1.036,8\text{m}^2$ |
| | | Pavimento $1.036,8\text{m}^2$ |
| | Envidraçada | Portas Designaram-se duas portas, localizadas a norte ou a sul, ocupando uma área total de 40m^2 . |
| | | Janelas norte / sul: 38m^2 (15%) leste / oeste: 14m^2 (10%) |

3.2 – Variáveis em estudo

O clima é considerado um dos fatores determinantes na análise do comportamento térmico de um edifício, pois afecta directamente as cargas térmicas do mesmo. Por sua vez, existem diferentes medidas ou elementos que poderiam influenciar positiva ou negativamente tais efeitos.

Com o intuito de determinar o grau de influência, de algumas das medidas existentes, nos diferentes climas, são estabelecidas como variáveis estes dois elementos, utilizando como edifício o modelo de referência já definido.

3.2.1- Definição dos climas

A determinação dos climas a analisar passa inicialmente pela seleção da classificação climática a utilizar. Para isto, foram estudadas as classificações realizadas por *Victor Olgyay*, *Baruch Givoni* e *Wladimir Köppen*, em colaboração com *Rudolf Geiger*, e destas, seleccionou-se a classificação de *Köppen-Geiger* por ser uma das mais utilizadas mundialmente e dispor de maior quantidade de informação referente a cada clima¹⁰.

Uma vez determinada a classificação climática, foi elaborada uma base de dados sobre os países e a quantidade de população existente em cada um e, utilizando a informação disponível no mapa de *Köppen- Geiger*, foram atribuídos os diferentes tipos de climas correspondentes a cada país ¹¹ [13, 71]. Os climas considerados extremos, com base nas características climáticas que apresentavam, foram eliminados desta base de dados¹² e, posteriormente, a densidade populacional foi dividida segundo a quantidade de climas existentes para cada país, atribuindo um peso igual para cada um.

O resultado final deste procedimento permitiu estabelecer uma classificação¹³ onde foram seleccionados os dez primeiros climas a serem analisados, representando 70% da população mundial. Seguidamente, e com base nas características de cada um, estes dez primeiros climas foram reduzidos para seis, nomeadamente Am-Aw, BSh, BSk, Cfa-Cwa, Cfb-Cwb e Dfb-Dsb para a avaliação subsequente. A posterior atribuição de países e cidades aos climas aqui designados, tem como único objetivo a localização do projeto,

¹⁰ Sobre este assunto, é possível encontrar informação mais detalhada no Capítulo II – Construção sustentável em edifícios industriais.

¹¹ Anexo 1: Tabela de classificação climática e população total por país.

¹² Climats considerados extremos: Glaciar (E), Áridos (BWh e BWk) e Continental Temperado Frio (Dfc, Dfd, Dsc, Dsd, Dwc e Dwd).

¹³ Anexo 8: *Ranking* das medidas, segundo o clima, com base no Valor Atualizado Líquido.

num ponto espacial real, de modo a permitir aceder à informação climática, no programa posteriormente utilizado, para levar a efeito a análise paramétrica, constante na metodologia aqui apresentada (Anexo 4).




3.2.2- Medidas em estudo

Para o estudo e seleção das medidas bioclimáticas, foram utilizadas como base as informações da tabela realizada por *David Lloyd Jones*¹⁴. Procedeu-se à recolha e classificação das medidas existentes, com o intuito de selecionar aquelas que, segundo a sua constituição ou desempenho, permitissem ser adaptadas no contexto industrial. As medidas seleccionadas foram o isolamento, os elementos de sombreamento, a cobertura ajardinada, a *solarwall* e o *free cooling*, e a caracterização das mesmas é apresentada a seguir.

3.2.2.1- Isolamento

Para a análise do isolamento foram considerados três níveis de espessura diferentes do mínimo estabelecido (40mm). O painel *sandwich* é constituído por duas chapas metálicas e uma capa de poliuretano entre elas. Apresenta espessuras dos 30mm aos 100mm para a cobertura, e dos 40mm aos 100mm para a fachada [65]. Partindo deste princípio, e fixando ambos painéis num mínimo de 40mm de isolamento, foi avaliado o seu efeito por cada 20mm de espessura adicionada (Tabela 5).

Tabela 5: Características e custo do isolamento [65] e manutenção [72].

| Cobertura |  | Interior | Espessura do isolamento | Valor U (W/m ²)/°C | | Custo |
|-----------------|---|----------------|--|--------------------------------|---------|---|
| | | | | Cobertura | Fachada | |
| Exterior 0,45mm | | 0,4mm | 40mm* | 0,555 | 0,541 | - |
| Isolamento |  | | 60mm | 0,380 | 0,373 | + 2 €.m ⁻² |
| | | | 80mm | 0,288 | 0,285 | + 4 €.m ⁻² |
| | | | 100mm | 0,232 | 0,230 | + 6 €.m ⁻² |
| Fachada |  | Interior 0,4mm | * O custo do isolamento de 40mm não é considerado no estudo. | | | Manutenção: 245,33 €.m ⁻² .ano ⁻¹ |
| Exterior 0,6mm | | | | | | |

3.2.2.2- Elementos de sombreamento

Devido à diversidade de dispositivos de proteção solar e à necessidade de dimensionamento destes segundo o tipo, a posição e o local onde se encontra, foram

¹⁴ Medidas de conforto passivo no Capítulo II – Construção sustentável em edifícios industriais, subponto 2.2 – Clima e prioridades de *design*

utilizadas as percentagens estimadas para uma saliência, beiral ou toldo, segundo a latitude em que o projeto está localizado (Tabela 6).

Tabela 6: Fator de sombreamento para inverno e verão, segundo a orientação das janelas e a latitude do projeto [73] e custos de investimento e manutenção [72].

| Estação | Orientação das janelas | | | | | Custos |
|---------|------------------------|------|-------|-------|-------|---|
| Inverno | Latitude | Sul | Oeste | Leste | Norte | Investimento 22,47 €·m ⁻² Manutenção 0,562 €·m ⁻² ·ano ⁻¹ |
| | 35 | 6 % | 8 % | 7 % | 5 % | |
| | 45 | 13 % | 17 % | 16 % | 19 % | |
| | 55 | 1 % | 1 % | 2 % | 1 % | |
| Verão | Latitude | Sul | Oeste | Leste | Norte | |
| | 35 | 26 % | 10 % | 10 % | 7 % | |
| | 45 | 41 % | 19 % | 19 % | 15 % | |
| | 55 | 1 % | 2 % | 1 % | 2 % | |

3.2.2.3- Cobertura ajardinada

As coberturas ajardinadas são classificadas como extensivas ou intensivas, segundo a sua composição e peso. Para o desenvolvimento desta análise foi selecionada uma cobertura ajardinada extensiva, tendo em conta as suas características e baixos custos.

Segundo o tipo de planta a aplicar, e o objetivo da cobertura, esta pode apresentar diversas espessuras na camada de substrato, por isso, foram atribuídos três valores de espessura localizados entre os valores mínimos e máximos das opções existentes [74] (Tabela 7). A cobertura ajardinada foi simulada para a área total da cobertura.

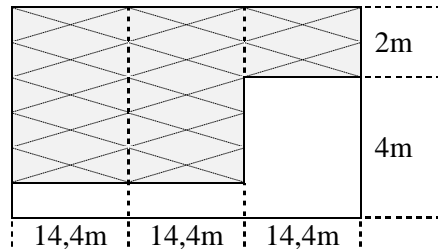
Tabela 7: Especificações da cobertura ajardinada [66, 74].

| Espessura da camada | Valor U (W/m ²)/°C | Custos* |
|------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 50mm | 0,519 | Investimento 23,95 €·m ⁻² |
| 100mm | 0,488 | |
| 150mm | 0,460 | |
| * Custos unicamente de referência. | | Manutenção: 200 €·ano ⁻¹ |

3.2.2.4- Solarwall

A *solarwall* foi calculada com base no clima do pior cenário (clima Dfb – Dsb Novosibirsk / Tolmach – Russia), considerando a existência de uma área sem aplicação de *solarwall* dadas as portas de acesso e outros elementos (Tabela 8).

Tabela 8: Custos de investimento e manutenção da *solarwall* [44].

|  | Área | Custos |
|---|-------------------|--|
| | 173m ² | Investimento 37,97 €·m ⁻² Manutenção: 0 €·m ⁻² ·ano ⁻¹ |

3.2.2.5- Free cooling

O arrefecimento gratuito ou *free cooling* é geralmente feito através do sistema de refrigeração existente, sem necessidade de implementar mais algum tipo de equipamento. Porém, e considerando a possibilidade de uma eventual instalação, foram atribuídos 600€ como custos de investimento e 200€/mês (2.400€/ano) para os custos associados à O&M [75, 76].

3.3 – Análise paramétrica

Para o objetivo proposto, a análise paramétrica é baseada no estudo técnico-económico de cada medida, nos diferentes climas, para posteriormente serem agrupadas e organizadas de acordo com os resultados, e avaliadas em conjunto (Figura 21).

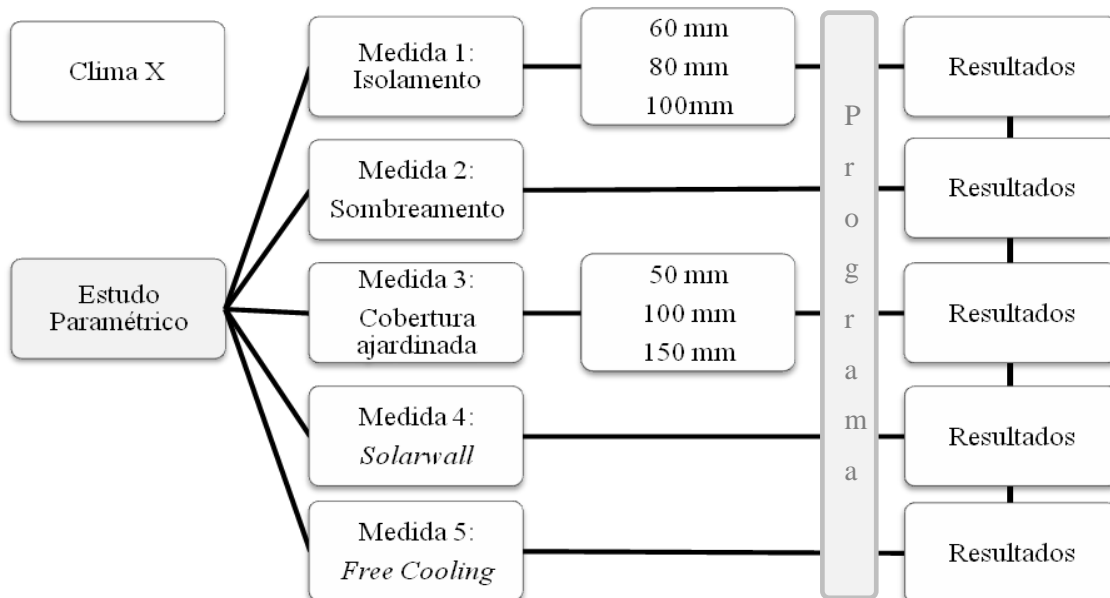


Figura 21: Esquema de desenvolvimento do estudo paramétrico.

A informação apresentada no esquema da Figura 21, e a determinação dos critérios de avaliação relevantes para a comparação das medidas, ou mesmo, dos diferentes climas, permite a criação de uma tabela base (Tabela 9), posteriormente desenvolvida, segundo o clima analisado. O programa seleccionado para a realização da análise paramétrica é o *RETScreen4*, e o mesmo é aprofundado no ponto a seguir.

Tabela 9: Estudo paramétrico geral aplicável a qualquer clima.

| Tipo de clima | | <i>Inputs</i> | | <i>Outputs</i> | | |
|----------------------|-------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|---|---------|
| Medidas | | Custo de investimento (€) | Custo de O&M (€/ano) | Poupança de energia (€/ano) | Redução líquida de GEE (tCO ₂ / 20 anos) | VAL (€) |
| Isolamento | 60mm | | | | | |
| | 80mm | | | | | |
| | 100mm | | | | | |
| Sombreamento | | | | | | |
| Cobertura ajardinada | 50mm | | | | | |
| | 100mm | | | | | |
| | 150mm | | | | | |
| <i>Solarwall</i> | | | | | | |
| <i>Free cooling</i> | | | | | | |

3.3.1- *RETScreen4*

O *RETScreen* é um programa que permite avaliar a produção de energia, as poupanças, os custos, a redução de emissões, a viabilidade financeira e os riscos de vários tipos de tecnologia baseada em energia renovável ou de eficiência energética. Inclui bases de dados de produtos, projetos, hidrologia e clima e está disponível em pelo menos 36 idiomas [66, 77].

Na sua versão *RETScreen4*, além das energias renováveis, a cogeração e a energia distrital, o programa inclui uma ampla gama de formas limpas de energia, tecnologias de aquecimento e refrigeração, e medidas de eficiência energética financeiramente viáveis. Um dos seus atrativos, como ferramenta a nível internacional, é a expansão dos dados relativos ao clima, de forma a cobrir a superfície do planeta, incluindo as áreas cobertas por redes elétricas centrais, redes isoladas e áreas isoladas das redes [66, 77].

Devido à classificação atribuída no programa, o estudo das medidas seleccionadas supõe a simulação de mais do que um tipo de projeto. Assim, o esquema apresentado na

Figura 22 pretende mostrar o processo envolvido na simulação e obtenção de resultados de cada uma destas medidas.

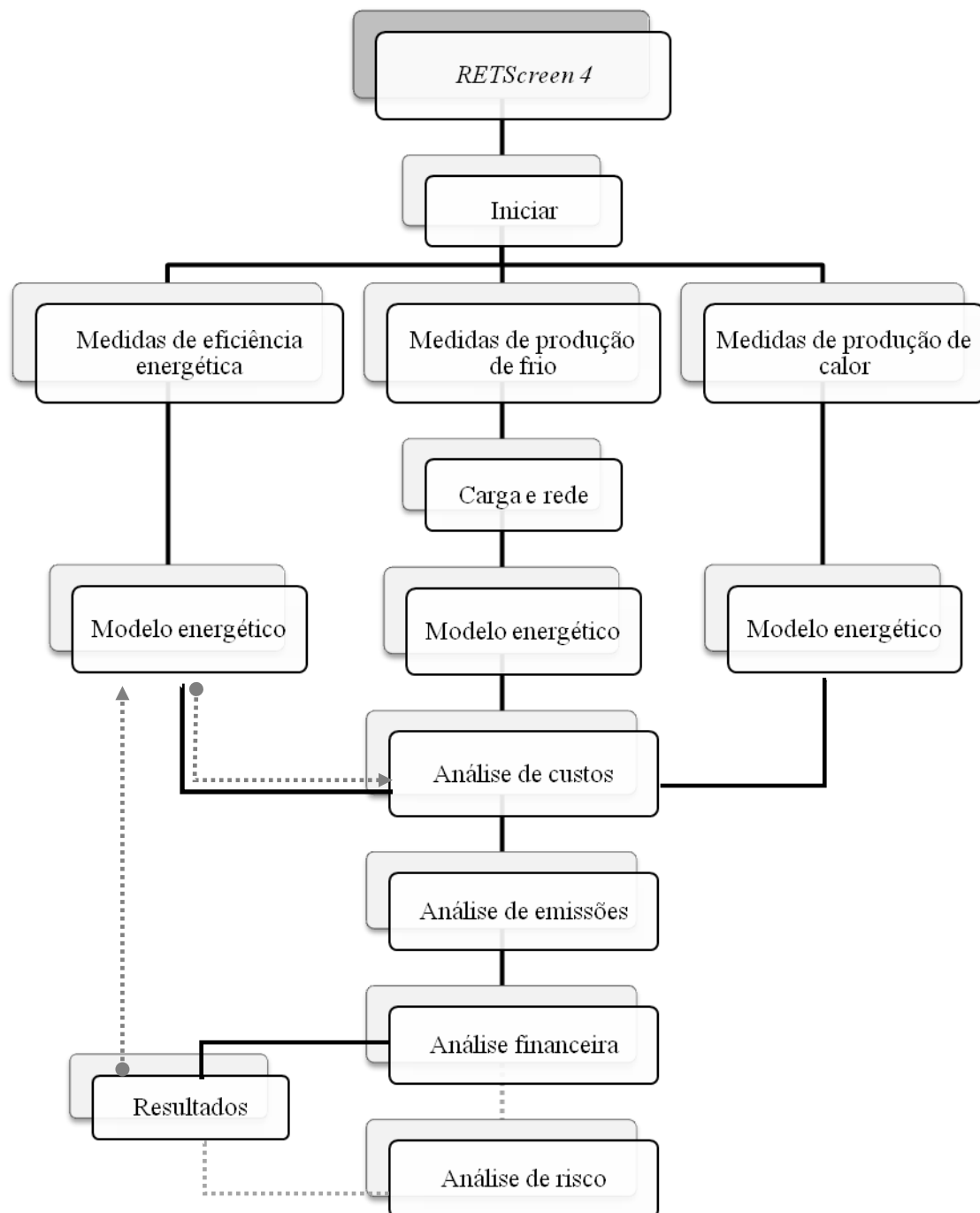


Figura 22: Processo de desenvolvimento da análise das medidas no *RETScreen4*.

No caso da simulação das medidas de eficiência energética, o modelo permite a caracterização pormenorizada da envolvente do edifício e dos seus componentes internos,

o que não ocorre nas medidas relativas à produção de frio ou calor. O modelo energético destas duas últimas permite, apenas, inserir a informação correspondente ao sistema de arrefecimento ou aquecimento, conforme seja o caso.

Por este motivo, e para alcançar os objetivos desta dissertação, no caso das medidas de produção de frio ou calor, uma vez realizada a análise, os resultados obtidos são incluídos no modelo geral de eficiência energética, permitindo avaliar a medida no contexto geral do edifício.

Para melhor perceção do trabalho desenvolvido, são apresentados os modelos energéticos correspondentes às medidas de eficiência energética, à produção de frio e à produção de calor.

3.3.1.1- Modelo energético para medidas de eficiência energética

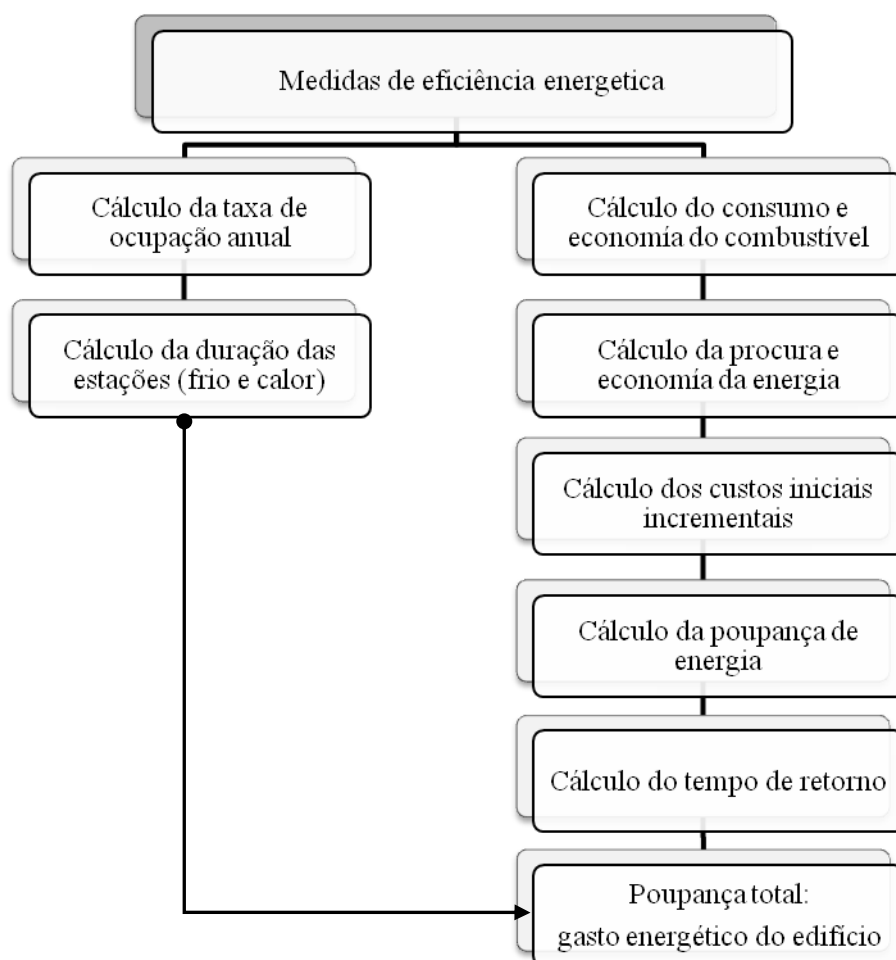


Figura 23: Processo de desenvolvimento da análise das medidas de eficiência energética no *RETScreen4*.

Como já exposto, este modelo permite a caracterização de todos os elementos do edifício, assim como dos equipamentos e componentes necessários para o seu funcionamento. O esquema da Figura 23 descreve os passos realizados pelo programa, para a obtenção do gasto energético total do edifício, para o caso de referência e o caso proposto.

É com base neste processo que são calculadas as medidas incluídas na eficiência energética, nomeadamente o isolamento, o sobreamento e a cobertura ajardinada e, posteriormente, a *solarwall* e o *free cooling* segundo os passos descritos na Figura 22.

3.3.1.2- Modelo energético para medidas de produção de frio

Este modelo permite a caraterização do sistema de arrefecimento do edifício e, com base no processo descrito na Figura 24, calcula a poupança da energia procedente da redução das necessidades de arrefecimento do mesmo, devido à implementação do *free cooling*.

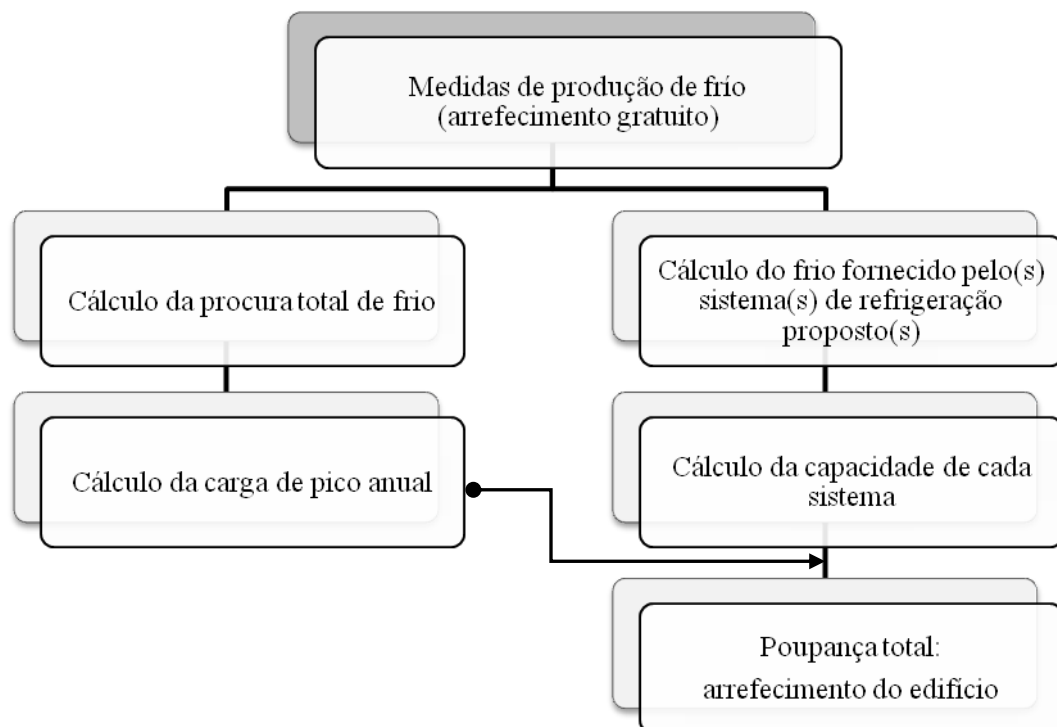


Figura 24: Processo de desenvolvimento da análise das medidas de produção de frio no *RETScreen4*.

Os valores obtidos nesta análise foram inseridos no modelo de eficiência energética para determinar a influência real da medida, no contexto geral do edifício.

3.3.1.3- Modelo energético para medidas de produção de calor

Este modelo permite caracterizar o sistema de aquecimento do edifício e, com base no processo descrito na Figura 25, calcula a poupança da energia que advém da redução nas necessidades de aquecimento do mesmo, devido à implementação da *solarwall*.

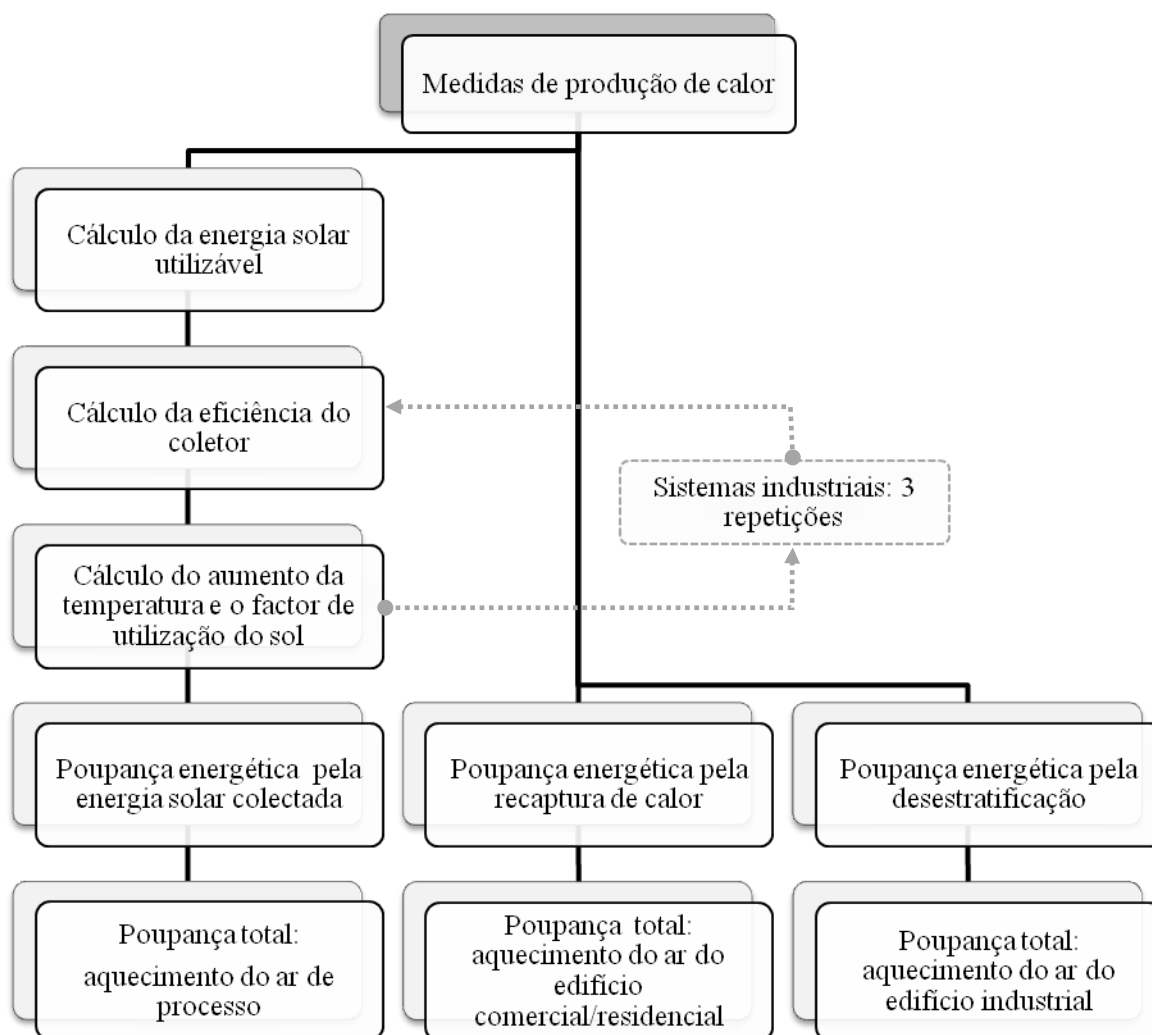


Figura 25: Processo de desenvolvimento da análise das medidas de produção de calor no *RETScreen4*.

Similarmente ao modelo de produção de frio, os valores obtidos nesta análise foram inseridos no modelo de eficiência energética e determinou-se a influência desta medida no contexto do edifício.

O desenvolvimento da análise das medidas, segundo os modelos energéticos aqui expostos (e o processo apresentado na Figura 22), requer a caracterização dos sistemas de climatização, assim como as condições de funcionamento do edifício. Estas serão apresentadas no ponto a seguir.

3.3.2- Caracterização da climatização, equipamentos e condições de funcionamento do edifício industrial

Para a análise desenvolvida, foi selecionada uma nave industrial para a fabricação de plástico, por possuir uma carga interna média, não sendo mínima, como no caso de uma fábrica de sapatos, nem alta, como uma fábrica de cerâmicas.

Os elementos internos, nomeadamente a climatização (e a determinação das temperaturas internas de aquecimento e arrefecimento), a infiltração de ar natural, as lâmpadas, os equipamentos elétricos, a água quente, os motores, o ar comprimido e a refrigeração, são definidos mediante as necessidades deste tipo de indústria.

Os fatores externos à edificação, nomeadamente a seleção dos horários de funcionamento, o custo da energia, as perdas da rede por transmissão e distribuição, as taxas de reajuste do combustível, as taxas de inflação, as taxas de desconto e o tempo de vida do projeto, foram definidos com base na globalidade que o projeto pretende, e não sob consideração de nenhum tipo de indústria.

3.3.2.1- Climatização

O aquecimento na indústria é geralmente feito através de caldeiras a gás natural. Estas apresentam uma eficiência de 65% a 75% para sistemas de média eficiência [66]. No modelo de referência foi aplicada uma caldeira com 75% de eficiência.

O arrefecimento pode ser realizado através de um equipamento de ar condicionado. Para o modelo de referência estimou-se um coeficiente de performance (COP) igual a 3.

Quanto à determinação das temperaturas internas para aquecimento e arrefecimento, alguns organismos de saúde e segurança no trabalho¹⁵ estimam que as temperaturas mínimas e máximas indicadas, vão desde 13°C para o aquecimento, até 29°C para o

¹⁵ Para mais informação, consultar o Anexo 6.

arrefecimento, sendo que as temperaturas recomendadas para uma fábrica de plástico são 24°C e 27°C¹⁶ [78-81].

3.3.2.2- Infiltração de ar natural

A infiltração de ar natural foi calculada com base na taxa de renovação do ar, fixando-a a uma renovação por hora, para um volume de ar de 6.220,8 m³[66].

3.3.2.3- Lâmpadas e iluminação

Para iluminação industrial podem ser utilizadas lâmpadas de vapor de sódio, vapor de mercúrio ou fluorescentes tubulares [82]. Foi estimada uma carga de iluminação de 10W/m² e 90 horas de funcionamento por semana [66].

3.3.2.4- Equipamentos elétricos

Com base no modelo para a indústria de moldação por injeção de plástico, incluído nas medidas de eficiência energética do *RETScreen4*, foi prevista a existência de 7 computadores, utilizados 45 horas por semana em 100%, com uma carga média de 0,3kW [66].

3.3.2.5- Água quente

A água quente é fornecida a 55°C através do sistema de aquecimento, para uso típico dos escritórios. Deve estar disponível 24 horas por dia e cobrir as necessidades de 27 pessoas [66].

3.3.2.6- Motores

Inclui as máquinas de injeção de plástico e motores para vários fins. Foram calculados três motores de 30cv de potência com eficiência nominal, que operam 8 horas por dia com 75% como fator de carga, para as máquinas de injeção, e três motores de 10cv de potência com eficiência nominal, que operam 15 horas por dia com 75% como fator de carga, para fins variados. Ambos os motores com 1800rpm quando operam a 100% da carga [66].

3.3.2.7- Ar comprimido

Para o ar comprimido designa-se a utilização de compressores de parafuso rotativo com capacidade de 125pcm e 30cv, e um motor energeticamente eficiente, ar de entrada

¹⁶ As temperaturas apropriadas, segundo o tipo de indústria, encontram-se especificadas no Anexo 7.

com captação interior, pressões de 135psig, controlo liga/desliga, requisitos de caudal de cerca de 80pcm, fugas de 20pcm e 80-90 horas por semana debitadas do sistema [66].

3.3.2.8- Refrigeração

O sistema de refrigeração, com o COP sazonal de 3, apresenta uma carga de arrefecimento de 20 TR, com um ciclo de trabalho de 75% e uma capacidade de arrefecimento de 90 horas por semana [66].

3.3.2.9- Horário de funcionamento

Devido à pluralidade da análise realizada neste trabalho, estimou-se que a indústria possui três turnos de 8 horas de trabalho.

3.3.2.10- Custo da energia

O custo da energia é, sem dúvida, um fator de vital importância para a seleção do local onde a indústria vai ser situada. Existem países que oferecem melhores condições para este tipo de instalações, sendo mais atrativos para os investidores.

Contudo, sendo o objetivo desta dissertação, apresentar uma análise geral (que possa ser utilizada de forma global) sobre a aplicação da arquitetura bioclimática nos edifícios industriais, e considerando que os custos energéticos em alguns países são financiados, maioritariamente, pelo estado (apresentando uma grande diferença de custos e taxas, quando comparados com outros países¹⁷), foram selecionados países com climas diferentes, mas com recursos energéticos endógenos. Esta seleção permite considerar que, com base na existência dos recursos necessários, para a produção da sua própria energia, os custos associados à mesma seriam similares.

Assim, sendo a Turquia um dos países avaliados no trabalho (e um país candidato à União Europeia), consideraram-se os valores deste espaço económico para a atribuição dos custos de energia [84], determinando-se 0,118€/kWh para a eletricidade e 0,038€/kWh para o gás natural.

Esta consideração permite, igualmente, obter resultados baseados nos graus-dias (de aquecimento ou de arrefecimento) ou nas condições climáticas apresentadas no local, e não só numa cidade e país específicos. Para um caso real, é claro que tal análise deve ser

¹⁷ Para maior informação sobre os custos de energia e taxas ao nível mundial, consultar 83. Wagner, A., et al., *International Fuel Prices 2010/2011*, 2012, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development. p. 108.

realizada com base nos custos reais de energia de cada país, dada a importância que tais valores representam.

3.3.2.11- Perdas da rede

Estas incluem todas as perdas de energia entre a planta e o utilizador final. Foi designado 8% de perdas para países desenvolvidos e 15% para países em desenvolvimento [66].

3.3.2.12- Taxas

Quanto à taxa de reajuste do combustível, e considerando as diferentes economias, fixa-se a taxa de reajuste do combustível em 5%, sendo este o valor máximo apresentado nos Estados Unidos [66].

A fixação das taxas de inflação e desconto foram realizadas com base no valor correspondente à taxa da União Europeia, salvaguardando o seu cálculo de aspetos, agora irrelevantes, de cada país. Segundo informações apresentadas pela CIA, o valor da taxa de inflação corresponde a 2,6% e o de desconto a 1,5%, ambos para o ano 2012 [85-87].

3.3.2.13- Tempo de vida do projeto

Estabeleceu-se 20 anos como tempo de vida do projeto.

Uma vez definidos todos estes parâmetros, são realizadas as simulações individuais de cada medida em cada clima, e os resultados são apresentados no subponto seguinte.

3.3.3- Resultados da análise paramétrica

Após realizadas as simulações, segundo a metodologia explicada na Figura 22, são apresentados os resultados obtidos (Tabela 10 a 15) com base na Tabela 9, desenvolvida no início deste subcapítulo.

Tabela 10: Estudo paramétrico para o clima Am-Aw
(Equatorial de monção ou savana).

| Clima Am-Aw | | <i>Inputs</i> | | <i>Outputs</i> | | |
|----------------------|-------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|--|---------|
| Medidas | | Custo de investimento (€) | Custo de O&M (€/ano) | Poupança de energia (€/ano) | Redução líquida de GEE (tCO ₂ /20 anos) | VAL (€) |
| Isolamento | 60mm | 3.418 | 245,33 | 307 | 13 | -414 |
| | 80mm | 6.835 | | 468 | 19 | 858 |
| | 100mm | 10.253 | | 567 | 23 | 323 |
| Sombreamento | | 2.427 | 61 | 289 | 12 | 4.526 |
| Cobertura ajardinada | 50mm | 24.831 | 200 | 39 | 2 | -28.524 |
| | 100mm | | | 73 | 3 | -27.542 |
| | 150mm | | | 103 | 4 | -26.655 |
| <i>Solarwall</i> | | 6.569 | 0 | 66 | 7 | -4.643 |
| <i>Free cooling</i> | | 600 | 2.400 | 36.097 | 482 | 807.410 |

Tabela 11: Estudo paramétrico para o clima BSh
(Árido de estepes quentes, baixa latitude e altitude).

| Clima BSh | | <i>Inputs</i> | | <i>Outputs</i> | | |
|----------------------|-------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|--|---------|
| Medidas | | Custo de investimento (€) | Custo de O&M (€/ano) | Poupança de energia (€/ano) | Redução líquida de GEE (tCO ₂ /20 anos) | VAL (€) |
| Isolamento | 60mm | 3.418 | 245,33 | 330 | 6 | 251 |
| | 80mm | 6.835 | | 503 | 10 | 1.872 |
| | 100mm | 10.253 | | 609 | 12 | 1.552 |
| Sombreamento | | 2.427 | 61 | 295 | 6 | 4.694 |
| Cobertura ajardinada | 50mm | 24.831 | 200 | 42 | 1 | -28.439 |
| | 100mm | | | 78 | 2 | -27.384 |
| | 150mm | | | 111 | 2 | -26.431 |
| <i>Solarwall</i> | | 6.569 | 0 | 65 | 7 | -4.676 |
| <i>Free cooling</i> | | 600 | 2.400 | 38.039 | 259 | 854.344 |

Tabela 12: Estudo paramétrico para o clima BSk
(Árido de estepes frias, média latitude e grande altitude).

| Clima BSk | | Inputs | | Outputs | | |
|----------------------|-------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|--|---------|
| Medidas | | Custo de investimento (€) | Custo de O&M (€/ano) | Poupança de energia (€/ano) | Redução líquida de GEE (tCO ₂ /20 anos) | VAL (€) |
| Isolamento | 60mm | 3.418 | 245,33 | 999 | 104 | 19.723 |
| | 80mm | 6.835 | | 1.523 | 159 | 31.567 |
| | 100mm | 10.253 | | 1.846 | 192 | 37.533 |
| Sombreamento | | 2.427 | 61 | 126 | 14 | -221 |
| Cobertura ajardinada | 50mm | 24.831 | 200 | 128 | 13 | -25.953 |
| | 100mm | | | 237 | 25 | -22.756 |
| | 150mm | | | 337 | 35 | -19.869 |
| Solarwall | | 6.569 | 0 | 3.272 | 340 | 88.656 |
| Free cooling | | 600 | 2.400 | 19.768 | 2.107 | 419.150 |

Tabela 13: Estudo paramétrico para o clima Cfa-Cwa
(Temperado húmido com verão quente e inverno seco).

| Clima Cfa-Cwa | | Inputs | | Outputs | | |
|----------------------|-------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|--|---------|
| Medidas | | Custo de investimento (€) | Custo de O&M (€/ano) | Poupança de energia (€/ano) | Redução líquida de GEE (tCO ₂ /20 anos) | VAL (€) |
| Isolamento | 60mm | 3.418 | 245,33 | 745 | 87 | 12.343 |
| | 80mm | 6.835 | | 1.137 | 133 | 20.313 |
| | 100mm | 10.253 | | 1.350 | 158 | 23.116 |
| Sombreamento | | 2.427 | 61 | 142 | 28 | 233 |
| Cobertura ajardinada | 50mm | 24.831 | 200 | 95 | 11 | -26.895 |
| | 100mm | | | 177 | 21 | -24.510 |
| | 150mm | | | 251 | 29 | -22.356 |
| Solarwall | | 6.569 | 0 | 1.164 | 121 | 27.292 |
| Free cooling | | 600 | 2.400 | 24.250 | 3.767 | 521.622 |

Tabela 14: Estudo paramétrico para o clima Cfb-Cwb
(Temperado húmido com verão temperado e inverno seco).

| Clima Cfb-Cwb | | <i>Inputs</i> | | <i>Outputs</i> | | |
|----------------------|-------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|--|---------|
| Medidas | | Custo de investimento (€) | Custo de O&M (€/ano) | Poupança de energia (€/ano) | Redução líquida de GEE (tCO ₂ /20 anos) | VAL (€) |
| Isolamento | 60mm | 3.418 | 245,33 | 824 | 85 | 14.626 |
| | 80mm | 6.835 | | 1.256 | 129 | 23.794 |
| | 100mm | 10.253 | | 1.522 | 157 | 28.115 |
| Sombreamento | | 2.427 | 61 | 133 | 11 | -27 |
| Cobertura ajardinada | 50mm | 24.831 | 200 | 105 | 11 | -26.604 |
| | 100mm | | | 196 | 20 | -23.968 |
| | 150mm | | | 278 | 29 | -21.587 |
| <i>Solarwall</i> | | 6.569 | 0 | 1.509 | 157 | 37.334 |
| <i>Free cooling</i> | | 600 | 2.400 | 19.060 | 1.693 | 396.839 |

Tabela 15: Estudo paramétrico para o clima Dfb-Dsb
(Continental temperado frio com estação seca e verão Temperado ou verão seco e temperado).

| Clima Dfb Dsb | | <i>Inputs</i> | | <i>Outputs</i> | | |
|----------------------|-------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|--|---------|
| Medidas | | Custo de investimento (€) | Custo de O&M (€/ano) | Poupança de energia (€/ano) | Redução líquida de GEE (tCO ₂ /20 anos) | VAL (€) |
| Isolamento | 60mm | 3.418 | 245,33 | 2.078 | 216 | 51.118 |
| | 80mm | 6.835 | | 3.169 | 329 | 79.444 |
| | 100mm | 10.253 | | 3.839 | 398 | 95.545 |
| Sombreamento | | 2.427 | 61 | -58 | -11 | -5.583 |
| Cobertura ajardinada | 50mm | 24.831 | 200 | 265 | 28 | -21.944 |
| | 100mm | | | 494 | 51 | -15.295 |
| | 150mm | | | 700 | 73 | -9.290 |
| <i>Solarwall</i> | | 6.569 | 0 | 6.822 | 709 | 158.305 |
| <i>Free cooling</i> | | 600 | 2.400 | 14.852 | 986 | 294.540 |

Os resultados obtidos servem, posteriormente, para a realização da análise multi-critério, com o intuito de determinar qual o melhor conjunto de soluções para cada clima. A aplicação desta metodologia é explicada no ponto a seguir

3.4 – Análise multi-critério

A necessidade de agrupamento das diferentes medidas de acordo com o seu desempenho nos diferentes climas, supõe a seleção de critérios ou indicadores comuns, que permitam a realização da análise multi-critério (MCDA). Um estudo efetuado aos resultados obtidos na análise paramétrica permitiu criar uma matriz climas/medidas, para mostrar as potencialidades das mesmas no local selecionado (Tabela 9), e posteriormente, a seleção dos critérios de avaliação a serem utilizados no MCDA (Tabela 16).

Tabela 16: Critérios de avaliação utilizados na aplicação da análise multi-critério.

| Tipo de clima | | Desempenho ambiental | Desempenho social | Desempenho económico |
|----------------------|-------|-----------------------------|---|----------------------|
| Medidas | | Poupança de energia (€/ano) | Redução líquida de GEE (tCO ₂ / 20 anos) | VAL (€) |
| Isolamento | 60mm | | | |
| | 80mm | | | |
| | 100mm | | | |
| Sombreamento | | | | |
| Cobertura ajardinada | 50mm | | | |
| | 100mm | | | |
| | 150mm | | | |
| <i>Solarwall</i> | | | | |
| <i>Free cooling</i> | | | | |

O custo de investimento e O&M são desprezados nesta análise, sendo que passam a ser valores constantes para todos os climas, não apresentando diferenças entre eles. Quanto aos outros critérios, e com base nos pilares da sustentabilidade, considera-se o valor atualizado líquido¹⁸ (VAL) como indicador de desempenho económico, a poupança de energia como indicador de desempenho ambiental, e a redução líquida de GEE como indicador de desempenho social. Este último, de cariz ambiental, é considerado como o indicador social, para fins de desenvolvimento desta dissertação, devido ao impacto que tem na população, quer pela redução dos mesmos e a melhoria da qualidade de vida, quer pelo conhecimento da população associado a este elemento e a preocupação atribuída à redução dos GEE.

¹⁸ Ou *net present value* (NPV), em inglês.

Para a aplicação da análise multi-critério foi selecionada como ferramenta o programa *Pradin 3.0*, a descrição e metodologia utilizada nele será abordada a seguir.

3.4.1- *Pradin 3.0*

O *Pradin* (Programa de apoio à tomada de decisão baseado em indicadores) é um programa para análise multi-critério (MCDA) baseado no algoritmo *Promethée II*. A sua primeira versão permitia o cálculo do indicador multi-critério, a análise gráfica e de sensibilidade e o agrupamento de unidades segundo o valor do indicador multi-critério de seriação (IMC) [88].

Na versão *Pradin 3.0* foram incluídos novos recursos, nomeadamente os gráficos para análise dos fluxos positivos e negativos, a implementação do algoritmo *Promethée I*, a criação de uma rotina de atribuição de pesos ou importâncias para os parâmetros ou indicadores, a otimização do algoritmo de cômputo do IMC e a criação de uma nova rotina para o agrupamento de unidades, baseada no algoritmo do vizinho mais próximo [88].

O programa trabalha com ficheiros *.xls* e *.xlsx*, o que obriga à elaboração prévia de uma matriz em *Microsoft Excel* (Tabela 17) para, posteriormente, ser inserida no programa de análise multi-critério.

Tabela 17: Exemplo de matriz com critérios e opções para avaliação multi-critério.

| Medida/critério | Critério de avaliação 1 | Critério de avaliação 2 | Critério de avaliação n |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Opção/medida 1 | Valor 1_1 | Valor 2_1 | Valor n_1 |
| Opção/medida 2 | Valor 1_2 | Valor 2_2 | Valor n_2 |
| Opção/medida n | Valor 1_n | Valor 2_n | Valor n_n |

Esta matriz inclui os critérios de avaliação e as opções que se estão a estudar, sendo atribuído um valor (em escala de 1 a 10) que corresponde à relevância ou aos resultados obtidos para aquela opção ou medida naquele critério. Uma vez elaborada, procede-se à realização da análise multi-critério, utilizando o procedimento descrito na Figura 26.

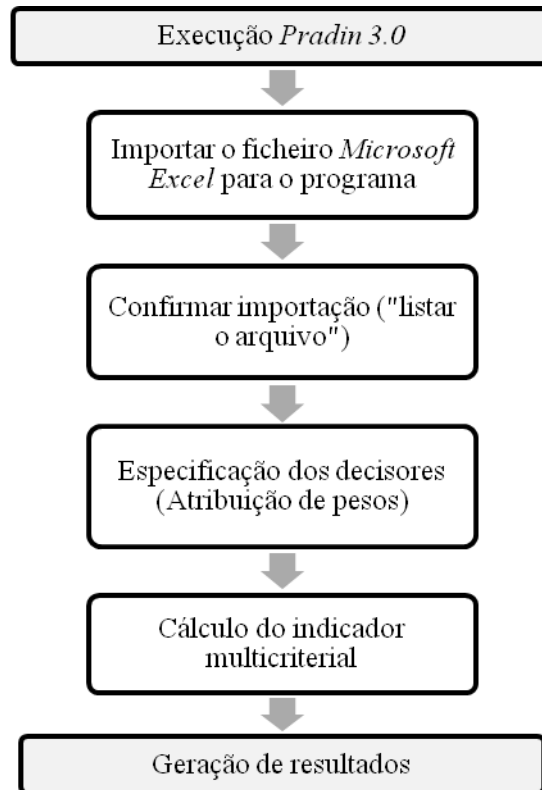


Figura 26: Esquema de execução do *Pradin 3.0*, baseado em [89].

As funcionalidades na execução do *Pradin 3.0* estão relacionadas com a hierarquização das alternativas. O cálculo de fluxos de preferência/superação podem ser positivos (Φ_i^+), ou negativos (Φ_i^-), e “trata-se da representação da média de preferência de uma alternativa x_i em relação às demais”[88].

O fluxo positivo é representado por:

$$\Phi_i^+ = \sum_k S_k$$

O fluxo negativo é representado por:

$$\Phi_i^- = \sum_k S_k$$

Quanto maior for o valor de Φ_i^+ , e menor o de Φ_i^- , melhor será a alternativa analisada[88].

A ordenação das alternativas é feita através do estabelecimento dum índice-resumo, chamado fluxo de superação líquido Φ_i . Este é calculado pela diferença entre os fluxos positivos e negativos.

$$\Phi_i = \frac{(\Phi_i^+ - \Phi_i^-)}{m-1} \text{ Sendo, } m \text{ o número total de alternativas.}$$

Uma vez obtidos os valores de Φ_i , é realizado uma seriação decrescente considerando todas as alternativas.

Tendo definido os indicadores a utilizar, e elaboradas as tabelas para cada clima, determina-se a escala de valores correspondentes a cada critério (para outorgar a importância de cada elemento segundo o critério avaliado), e os pesos correspondentes aos critérios em análise (para a atribuição, equitativa ou não, da ordem de importância destes). Isto permite então, a aplicação da análise multi-critério aqui descrita. O método utilizado para tal análise é mostrado no ponto a seguir.

3.4.1.1- Modelo de aplicação da análise multi-critério para a elaboração do *ranking* das medidas

A determinação da escala de valores (de 0 a 10) que corresponde a cada um dos indicadores selecionados para este estudo (Tabela 18), é realizada com base na informação apresentada nas tabelas do estudo paramétrico (Tabelas 10 a 15), e os indicadores selecionados (Tabela 16). Devido à diferença na ordem de grandeza entre alguns valores, e para permitir a avaliação dos montantes baixos, o valor limite imposto para cada critério é determinado pelo valor mínimo apresentado em cada indicador, na medida com o melhor desempenho energético (*free cooling* ou arrefecimento gratuito para todos os casos).

Tabela 18: Escala de valores atribuídos aos diferentes critérios de avaliação.

| | Pior caso cenário ●—————▶ Melhor caso cenário | | | | | |
|--|---|------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------|
| Critérios | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| Poupança energética (€/ano) | ≤ 249 | ≥ 250 | ≥ 500 | ≥ 1.000 | ≥ 5.000 | ≥ 10.000 |
| Redução líquida de GEE (tCO ₂ /20 anos) | ≤ 14 | ≥ 15 | ≥ 25 | ≥ 50 | ≥ 100 | ≥ 200 |
| VAL (€/ano) | ≤ 0 | 1 a 14.999 | 15.000 a 49.999 | 50.000 a 99.999 | 100.000 a 199.999 | ≥ 200.000 |

Uma vez determinada a escala, procede-se à atribuição dos valores correspondentes a cada medida. Para fins da sua utilização na aplicação da análise multi-critério, são

atribuídas letras aos critérios ou indicadores utilizados, com o intuito de simplificar o processamento por parte do programa e evitar, assim, erros de aplicação (Tabela 19). O mesmo método é utilizado para o nome das medidas.

Tabela 19: Código utilizado para a aplicação da análise multi-critério.

| Critérios | Letra |
|--|-------|
| Poupança energética (€/ano) | C1 |
| Redução líquida de GEE (tCO ₂ /20 anos) | C2 |
| VAL (€/ano) | C3 |
| Medida | Letra |
| Isolamento 60 mm | M1_1 |
| Isolamento 80 mm | M1_2 |
| Isolamento 100 mm | M1_3 |
| Sombreamento | M2 |
| Cobertura ajardinada 50 mm | M3_1 |
| Cobertura ajardinada 100 mm | M3_2 |
| Cobertura ajardinada 150 mm | M3_3 |
| <i>Solarwall</i> | M4 |
| <i>Free cooling</i> | M5 |

Com base na escala atribuída na Tabela 18 e os códigos da Tabela 19, são elaboradas, no *Microsoft Excel*¹⁹, as tabelas de medidas/critérios para cada clima (Tabela 20), as quais serão importadas para o *Pradin 3.0*.

Tabela 20: Medidas/critérios por clima para a realização da análise multi-critério.

| Clima Am-Aw | C1 | C2 | C3 |
|-------------|----|----|----|
| M1_1 | 2 | 0 | 0 |
| M1_2 | 2 | 2 | 2 |
| M1_3 | 4 | 2 | 2 |
| M2 | 2 | 0 | 2 |
| M3_1 | 0 | 0 | 0 |
| M3_2 | 0 | 0 | 0 |
| M3_3 | 0 | 0 | 0 |
| M4 | 0 | 0 | 0 |
| M5 | 10 | 10 | 10 |

| Clima BSh | C1 | C2 | C3 |
|-----------|----|----|----|
| M1_1 | 2 | 0 | 2 |
| M1_2 | 4 | 0 | 2 |
| M1_3 | 4 | 0 | 2 |
| M2 | 2 | 0 | 2 |
| M3_1 | 0 | 0 | 0 |
| M3_2 | 0 | 0 | 0 |
| M3_3 | 0 | 0 | 0 |
| M4 | 0 | 0 | 0 |
| M5 | 10 | 10 | 10 |

¹⁹ Aconselha-se a elaboração de um ficheiro para cada clima.

| Clima BSk | C1 | C2 | C3 |
|-----------|----|----|----|
| M1_1 | 4 | 8 | 4 |
| M1_2 | 6 | 8 | 4 |
| M1_3 | 6 | 8 | 4 |
| M2 | 0 | 0 | 0 |
| M3_1 | 0 | 0 | 0 |
| M3_2 | 0 | 4 | 0 |
| M3_3 | 2 | 4 | 0 |
| M4 | 6 | 10 | 6 |
| M5 | 10 | 10 | 10 |

| Clima Cfa-Cwa | C1 | C2 | C3 |
|---------------|----|----|----|
| M1_1 | 2 | 0 | 2 |
| M1_2 | 4 | 0 | 2 |
| M1_3 | 4 | 0 | 2 |
| M2 | 2 | 0 | 2 |
| M3_1 | 0 | 0 | 0 |
| M3_2 | 0 | 0 | 0 |
| M3_3 | 0 | 0 | 0 |
| M4 | 0 | 0 | 0 |
| M5 | 10 | 10 | 10 |

| Clima Cfb-Cwb | C1 | C2 | C3 |
|---------------|----|----|----|
| M1_1 | 4 | 6 | 2 |
| M1_2 | 6 | 8 | 4 |
| M1_3 | 6 | 8 | 4 |
| M2 | 0 | 0 | 0 |
| M3_1 | 0 | 0 | 0 |
| M3_2 | 0 | 2 | 0 |
| M3_3 | 2 | 4 | 0 |
| M4 | 6 | 8 | 6 |
| M5 | 10 | 10 | 10 |

| Clima Dfb-Dsb | C1 | C2 | C3 |
|---------------|----|----|----|
| M1_1 | 6 | 10 | 6 |
| M1_2 | 6 | 10 | 6 |
| M1_3 | 6 | 10 | 6 |
| M2 | 0 | 0 | 0 |
| M3_1 | 2 | 4 | 0 |
| M3_2 | 2 | 6 | 0 |
| M3_3 | 4 | 6 | 0 |
| M4 | 8 | 10 | 8 |
| M5 | 10 | 10 | 10 |

A atribuição de valores de importância ou pesos aos critérios avaliados é realizada segundo a finalidade do estudo, não sendo restritiva para uma ordem específica. Considerando os indicadores descritos, procede-se à realização de duas análises, com o intuito de avaliar a possível influência de um dos critérios selecionados na globalidade do projeto.

Uma primeira análise foi feita sob consideração da igualdade na importância dos critérios analisados (Tabela 21). A atribuição equitativa de pesos (cujo total deve ser igual a 1) é feita automaticamente pelo programa.

Tabela 21: Relevância dos indicadores utilizados na análise multi-critério.

| Indicador | Aspeto | Critério | Mensuração qualitativa |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Desempenho económico | Desempenho económico | Valor Atualizado Líquido (VAL) | Essencial |
| Desempenho ambiental | Energia | Poupança energética | Essencial |
| Desempenho Social | Emissões, efluentes e resíduos | Redução líquida de GEE | Essencial |

A segunda análise foi realizada com base na relevância atribuída pela *Global Reporting Initiative*, aos indicadores e aspetos, para a avaliação da sustentabilidade de um projeto (Tabela 22).

Tabela 22: Relevância dos indicadores GRI utilizados na análise multi-critério [90].

| Indicador | Aspeto | Critério | Código do critério | Mensuração qualitativa |
|----------------------|--|--|--------------------|------------------------|
| Desempenho económico | Desempenho económico | Valor económico direto gerado e distribuído, incluindo receitas, custos operacionais, indemnizações a trabalhadores, donativos e outros investimentos na comunidade, lucros não distribuídos e pagamentos a investidores e governos. | EC1 | Essencial |
| Desempenho ambiental | Energia | Iniciativas para fornecer produtos e serviços baseados na eficiência energética ou nas energias renováveis, e reduções no consumo de energia em resultado dessas iniciativas. | EN6 | Complementar |
| | Emissões, efluentes e resíduos ²⁰ | Iniciativas para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, assim como reduções alcançadas. | EN18 | Complementar |

Com base nos dados apresentados na Tabela 22, os pesos atribuídos corresponderam a um valor de 0,4 para o critério de desempenho económico, e 0,3 para os critérios de desempenho ambiental/social, nomeadamente a poupança de energia e a redução líquida de GEE. Porém, da atribuição de diferentes pesos aos critérios de avaliação nas duas análises, não se verificou diferenças significativas nos resultados.

A determinação destas variantes permitirá a criação de um ambiente confortável por meios naturais, a promoção da implementação destas e outras medidas e, por fim, a criação de um portefólio de soluções construtivas que melhor se adequam a um determinado clima, para este tipo de edifícios.

²⁰ Considerado como um aspeto/indicador de desempenho social no desenvolvimento desta dissertação.

3.5 – Definição do portefólio

A seleção das medidas incluídas no portefólio é determinada pelo comportamento de cada uma nos climas estudados. Assim, a elaboração deste ponto considera os resultados obtidos nesta análise, a posterior ordenação através do MCDA e a comparação entre os resultados finais. O produto final deste processo é exibido na Tabela 23.

Tabela 23: Soluções construtivas de possível aplicação em diferentes climas.

| Climas | Medidas |
|---|--|
| Am e Aw Equatorial de monção ou savana | <i>Free cooling</i> Sombreamento Isolamento 80mm |
| BSh Árido de estepes quentes de baixa latitude e altitude | <i>Free cooling</i> Sombreamento Isolamento 80mm |
| BSk Árido de estepes frias de média latitude e grande altitude | <i>Free cooling</i> <i>Solarwall</i> Isolamento de 100mm |
| Cfa e Cwa Temperado húmido com verão quente ou com inverno seco e verão quente | <i>Free cooling</i> <i>Solarwall</i> Isolamento de 100mm Sombreamento |
| Cfb e Cwb Temperado húmido com verão temperado ou com inverno seco e verão temperado | <i>Free cooling</i> <i>Solarwall</i> Isolamento de 100mm |
| Dfb e Dsb Continental temperado frio sem estação seca e com verão temperado ou com verão seco e temperado | <i>Free cooling</i> <i>Solarwall</i> Isolamento de 100mm |

Esta investigação permitiu, ainda, definir, perante a utilização das percentagens obtidas na análise multi-critério, a ordem de importância de algumas medidas de conforto passivo, segundo o clima em que são aplicadas. Tais resultados possibilitaram a criação de uma nova classificação para as prioridades de *design* de acordo ao clima, (Tabela 24), a qual pode ser somada à tabela de medidas de poupança energética por regiões globais de *David Lloyd Jones*, incluída no Anexo 2 deste trabalho.

Tabela 24: Importância de algumas medidas de conforto passivo nos diferentes climas analisados.

| Medidas de conforto | (A) Tropical Savana | (B) Estepes quentes | (B) Estepes frias | (C) Subtropical | (C) Temperado | (D) Continental |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|
| Passivo | Am Aw | BSh | BSk | Cfa Cwa | Cfb Cwb | Dfb Dsb |
| Ventilação noturna | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Construção leve | 52 | 48 | 60 | 63 | 60 | 70 |
| Aquecimento solar | 0 | 0 | 85 | 73 | 77 | 90 |
| Calor accidental | 0 | 0 | 85 | 73 | 77 | 90 |
| Isolamento / Permeabilidade | 52 | 48 | 60 | 63 | 60 | 70 |
| Controlo do sol / Sombreamento | 43 | 42 | 19 | 23 | 0 | 0 |
| Ordem de importância: 0 a 100 % | | | | | | |

Este capítulo apresentou a metodologia e os parâmetros aplicados para o desenvolvimento desta dissertação, enquadrada no âmbito industrial. Contudo, os métodos ou metodologias aqui utilizadas não são restritivas aos edifícios industriais, permitindo a sua aplicação a outras áreas de estudo.

Os parâmetros relativos ao edifício industrial podem ser reproduzidos para outros casos, considerando que alguns dos elementos internos foram determinados com base no tipo de indústria analisada.

A seleção de qualquer ferramenta de simulação ou apoio, para a realização deste tipo de análise, deve ser acompanhada de uma avaliação prévia às capacidades e potencialidades que esta pode trazer para o objetivo proposto.

As análises aqui realizadas permitiram a criação de um portefólio de soluções construtivas, adaptável ao clima em que esteja situado o projeto, e a determinação da importância de algumas das medidas de conforto passivo para os climas analisados.

Capítulo IV - Análise e discussão de resultados

Este capítulo destina-se a apresentar e discutir os resultados obtidos após o desenvolvimento desta investigação. A análise realizada permite explorar a viabilidade das diferentes medidas segundo o clima, e ainda conhecer a variação no comportamento desta, segundo onde seja aplicada.

4.1 – Análise das medidas segundo o clima

Os resultados apresentados neste subcapítulo são produto da realização de três análises diferentes, baseadas nos resultados obtidos após as simulações do *RETScreen4*.

As duas primeiras análises (Análise #1 e Análise #2) são produto da realização do MCDA e foram executadas no *Pradin 3.0*. A terceira análise envolve a elaboração de um *ranking* com base no Valor Atualizado Líquido (VAL) (Anexo 8).

Assim, apresenta-se, em continuação, os gráficos comparativos com os resultados obtidos após as três análises, permitindo avaliar o desempenho das medidas em cada clima e a possível influência, quer dos critérios selecionados, quer da diferença na ordem de importância de tais critérios.

4.1.1- Clima equatorial de monção ou savana (Am-Aw)

Como explicado anteriormente, e apesar de se ter realizado as análises multi-critério sob consideração de diferentes ordens de importância para os critérios utilizados, os resultados da análise #1 e #2 não mostram variações superiores a 2,5% nas percentagens relativas à importância das medidas. Quando comparados com os resultados obtidos no *ranking* a importância das medidas varia (Figura 27).

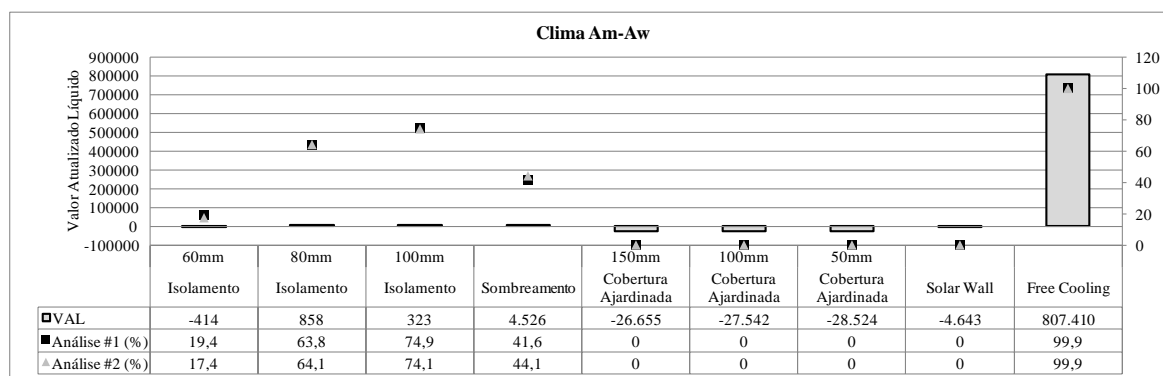


Figura 27: Importância das medidas para o clima Am-Aw.

Perante os resultados mostrados na Tabela 10 e a escala atribuída para a análise multi-critério na Tabela 18, a diferença de posicionamento entre os isolamentos é devida à maior poupança energética aos 100mm de espessura, porém, e de acordo com o VAL (tabela da Figura 27), o isolamento apresenta maior atrativo financeiro aos 80mm de espessura.

Quanto ao sombreamento, o VAL é maior comparativamente com qualquer um dos isolamentos propostos, todavia, apresenta valores de poupança energética e redução líquida de GEE mais baixos, sendo ultrapassado pelo isolamento.

A utilização de cobertura ajardinada na área total do teto não é sustentável para nenhum dos casos apresentados. O aumento da espessura da camada de substrato supõe o incremento da poupança energética entre 87% e 164% do original, e entre 50% e 100% da redução líquida de GEE. Devido aos altos custos de investimento, esta medida deve ser dimensionada com base no clima em que se encontra e as necessidades apresentadas, dado que o seu sobredimensionamento pode comprometer o desempenho térmico da edificação nos períodos frios. A sua aplicação supõe a análise de tipo e espessura de vegetação e substrato, para a obtenção do melhor desempenho possível.

A *solarwall* considera-se sobredimensionada às necessidades de aquecimento deste clima, as quais são quase inexistentes. O custo de investimento desta medida não compensa a poupança energética obtida, nem a redução líquida de GEE ao longo da vida do projeto.

O *free cooling* não apresenta diferenças de posicionamento ou importância, perspectivando-se como a medida com melhor desempenho para este clima.

4.1.2- Clima árido de estepes quentes, baixa latitude e altitude (BSh)

Os resultados das análises multi-critério não mostram variações superiores a 2,4% nas percentagens relativas ao posicionamento das medidas. Quando comparados com o *ranking*, a importância das medidas varia quanto à ordem dos elementos de sombreamento e isolamento (Figura 28).

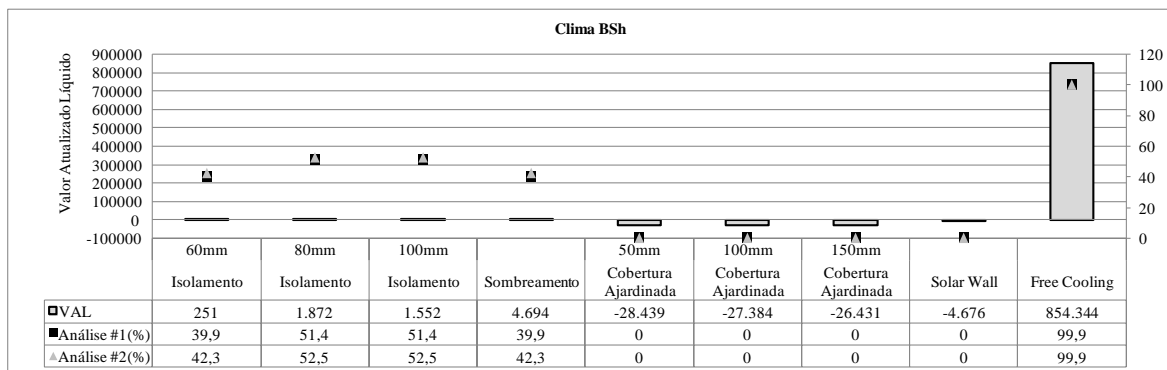


Figura 28: Importância das medidas para o clima BSh.

Com base na análise técnico-económica, o isolamento com melhor desempenho geral para este clima é o que possui 80mm de espessura, apresentando VAL positivos mais baixos, para as outras opções estudadas.

A variação apresentada quanto à ordem dos elementos de sombreamento e isolamento, entre o gráfico e a tabela da Figura 28, deve-se à maior poupança energética e à redução líquida de GEE, para as duas espessuras de isolamento, comparativamente com o sombreamento, quanto este último perfila-se como um elemento de maior atrativo económico, apresentando um VAL mais alto.

O aumento da espessura da camada de substrato na cobertura ajardinada supõe igualmente o incremento da poupança energética entre 86% e 164% do original, e um 100% na redução líquida de GEE. Esta medida deve ser dimensionada com base no clima em que se encontra e as necessidades apresentadas.

Sendo um clima com algumas similitudes ao clima Equatorial, a *solarwall* considera-se, igualmente, sobredimensionada às necessidades de aquecimento deste clima, e o custo de investimento não compensa a poupança energética obtida, nem a redução líquida de GEE ao longo da vida do projeto.

Novamente, e para todos os climas a seguir, o *free cooling* perspectiva-se como a medida com melhor desempenho neste clima.

4.1.3- Clima árido de estepes frias, média latitude e grande altitude (BSk)

Nesta análise, os resultados do multi-critério não mostram variações, entre eles, superiores a 1,9% nas percentagens relativas ao posicionamento das medidas. Quando comparados com o *ranking*, a ordem das medidas relevantes mantem-se, variando unicamente na colocação do sombreamento em relação à cobertura ajardinada (Figura 29). Estas duas últimas medidas são consideradas secundárias para este clima.

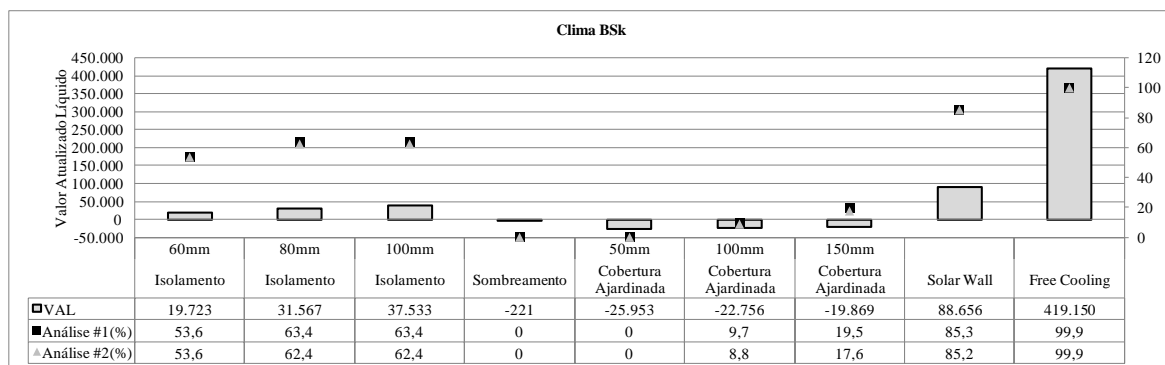


Figura 29: Importância das medidas para o clima BSk.

A diferença de posicionamento entre o sombreamento e as coberturas ajardinadas é consequência de uma maior poupança energética e redução líquida de GEE, para as duas espessuras de substrato, de 100mm e de 150mm, comparativamente com o sombreamento. Contudo, este último apresenta um VAL menos baixo, mesmo que negativo (ver tabela da Figura 29). A camada de substrato de 50mm e o sombreamento possuem valores de poupança energética e redução líquida de GEE quase iguais para este clima.

O facto de ser um clima relativamente frio diminui, ou elimina a importância de aplicação dos elementos de sombreamento, utilizados geralmente nos climas mais quentes, ou em locais com extrema exposição ao sol. Porém, tais características beneficiam a aplicação da *solarwall* que, juntamente com o *free cooling*, são apresentadas como as medidas com melhor desempenho nos climas áridos frios.

4.1.4- Clima temperado húmido com verão quente e inverno seco (Cfa-Cwa)

Os resultados das análises multi-critério para este clima não mostram variações superiores a 2% nas percentagens relativas ao posicionamento das medidas (Figura 30). Quando comparados com o *ranking*, a diferença reside na aplicação, ou não, dos elementos de sombreamento e o isolamento de 60mm.

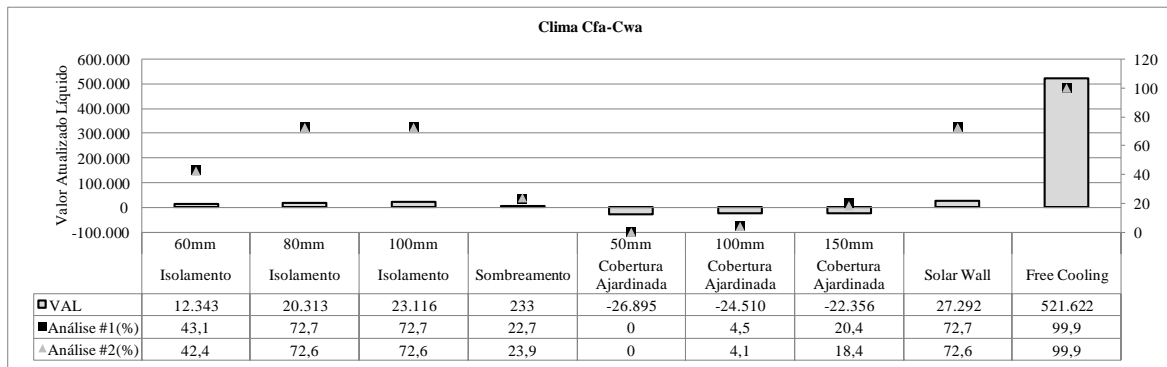


Figura 30: Importância das medidas para o clima Cfa-Cwa.

Os elementos de sombreamento, apesar de figurarem no *ranking* por apresentarem um VAL positivo (mas muito baixo), ostentam valores de poupança energética e redução líquida de GEE relativamente pequenos, quando comparados com as outras medidas com VAL positivo, nomeadamente o *free cooling*, a *solarwall* e os isolamentos. Portanto, a sua aplicação, ou não, depende da análise particular do edifício selecionado.

Com relação ao isolamento de 60mm, as poupanças energéticas de CO₂, geradas pelo isolamento com 100mm de espessura, superam, em 81%, as reduções geradas pelo primeiro. Assim, mesmo que apresentando todos VAL positivos, é recomendado o estudo individual da medida segundo o caso.

As características apresentadas neste clima beneficiam igualmente a aplicação de medidas como a *solarwall* e o *free cooling*.

4.1.5- Clima temperado húmido com verão temperado e inverno seco (Cfb-Cwb)

Os resultados das análises multi-critério para este clima não mostram variações superiores a 1% nas percentagens relativas ao posicionamento das medidas e, quando comparados com o *ranking*, apresentam diferença no posicionamento do sombreamento e às coberturas ajardinadas (Figura 31).

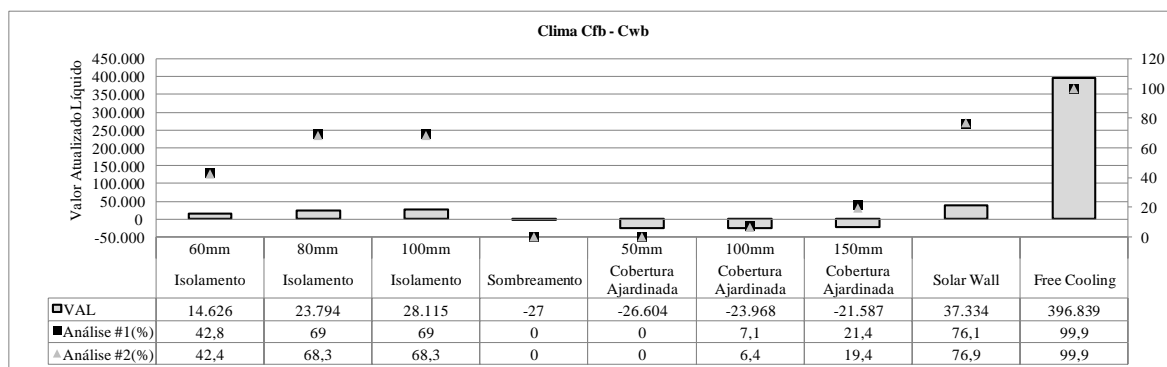


Figura 31: Importância das medidas para o clima Cfb-Cwb.

Num clima frio, o isolamento de 60mm apresenta valores consideravelmente mais baixos de energia poupada e redução líquida de GEE, quando comparados com outras medidas, porém, este apresenta um VAL positivo que poderia permitir a sua aplicação dentro do projeto estudado, oferecendo ganhos aproximados a quatro vezes o valor de custo de investimento.

A diferença no posicionamento do sombreamento, relativamente às coberturas ajardinadas, é originada pela variação dos valores de poupança energética e redução líquida de GEE, sendo que a cobertura ajardinada de 150mm supera estes em 109% de energia poupada e 163% de tCO₂ reduzidas. Sendo comparadas com base no VAL, mesmo quando todas apresentam valores negativos, as coberturas ajardinadas excedem em 88.670% o valor obtido para o sombreamento.

4.1.6- Clima continental temperado frio com estação seca e verão temperado ou verão seco e temperado (Dfb-Dsb)

Nesta análise, os resultados do multi-critério não mostram variações, entre eles, superiores a 2,6% nas percentagens relativas ao posicionamento das medidas.

Quando comparados com o *ranking*, apresentam diferença quanto à ordem de importância dos isolamentos, os elementos de sombreamento e as coberturas ajardinadas (Figura 32).

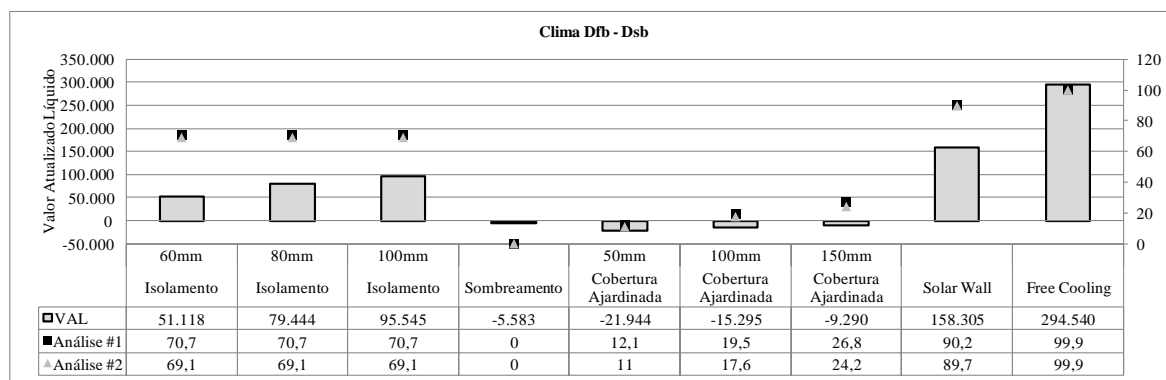


Figura 32: Importância das medidas para o clima Dfb-Dsb.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 15, determina-se que a igualdade de posicionamento entre os isolamentos, para as análises #1 e #2, é consequência da escala atribuída para a análise multi-critério na Tabela 18. Contudo, de acordo com o VAL, o isolamento de 100mm de espessura possui um maior atrativo financeiro, comparativamente ao isolamento de 60mm e de 80mm, superando em 87% os ganhos do primeiro, e em 20% os ganhos do segundo.

Igual ao caso anterior (clima Cfb-Cwb), a diferença no posicionamento do sombreamento, relativamente às coberturas ajardinadas, é originada pela variação dos valores de poupança energética e redução líquida de GEE. Neste clima, os valores correspondentes ao sombreamento são mais baixos e negativos, supondo uma perda energética e um aumento de CO₂ quando aplicados (ver Tabela 15). Já a cobertura ajardinada apresenta valores de poupança energética e redução líquida de GEE positivos, mesmo que baixos comparativamente às outras medidas.

4.2 – Análise segundo a medida

Os resultados obtidos permitem, igualmente, caracterizar o comportamento das medidas para os diferentes climas. Esta análise foi fundamentada no valor presente líquido (VAL) resultante das simulações no *RETScreen4* (ver Tabelas 10 a 15).

4.2.1- Isolamento

A importância desta medida, e a determinação da sua espessura, estão diretamente relacionadas com o clima onde é inserido o projeto, sendo que, mesmo apresentando certas vantagens nos climas quentes secos ou húmidos (climas Am-Aw), devido à diminuição da absorção de calor ou das perdas de energia por arrefecimento, o seu comportamento melhora vertiginosamente enquanto diminui a temperatura exterior (Figura 33). O excesso de isolamento nos climas quentes, ou a falta deste nos climas frios, pode resultar em gastos energéticos desnecessários.

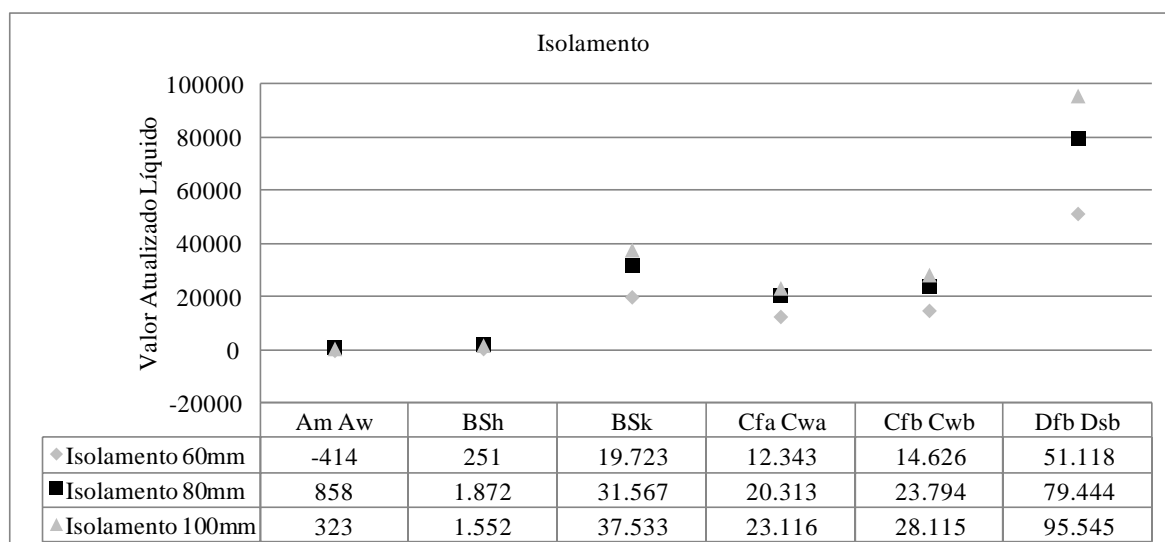


Figura 33: Desempenho do isolamento nos diferentes climas.

4.2.2- Sombreamento

Esta medida apresenta um comportamento contrário ao isolamento, a sua importância aumenta conforme as necessidades do aquecimento diminuem. A sua aplicação considera-se obrigatória em qualquer clima que não apresente frio extremo, sendo que, neste caso (climas Dfb-Dsb), poderia ocasionar gastos adicionais para cobrir as necessidades de aquecimento do edifício (Figura 34).

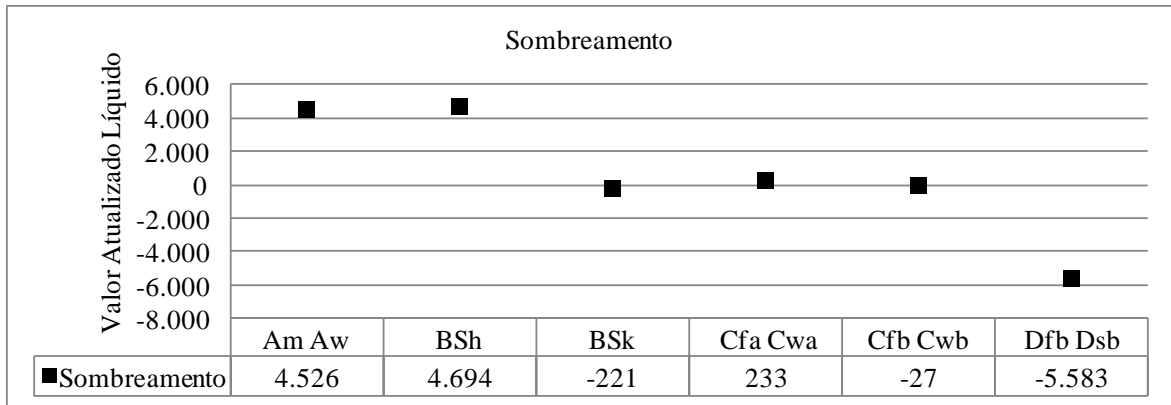


Figura 34: Desempenho do sombreamento nos diferentes climas.

4.2.3- Cobertura ajardinada

Devido às dimensões da cobertura ajardinada, e os custos associados a esta, os valores correspondentes à sua análise resultaram sempre negativos (Figura 35). Porém, é possível concluir que as vantagens da sua aplicação aumentam mediante as necessidades de aquecimento e a espessura da camada de substrato (climas Dfb - Dsb).

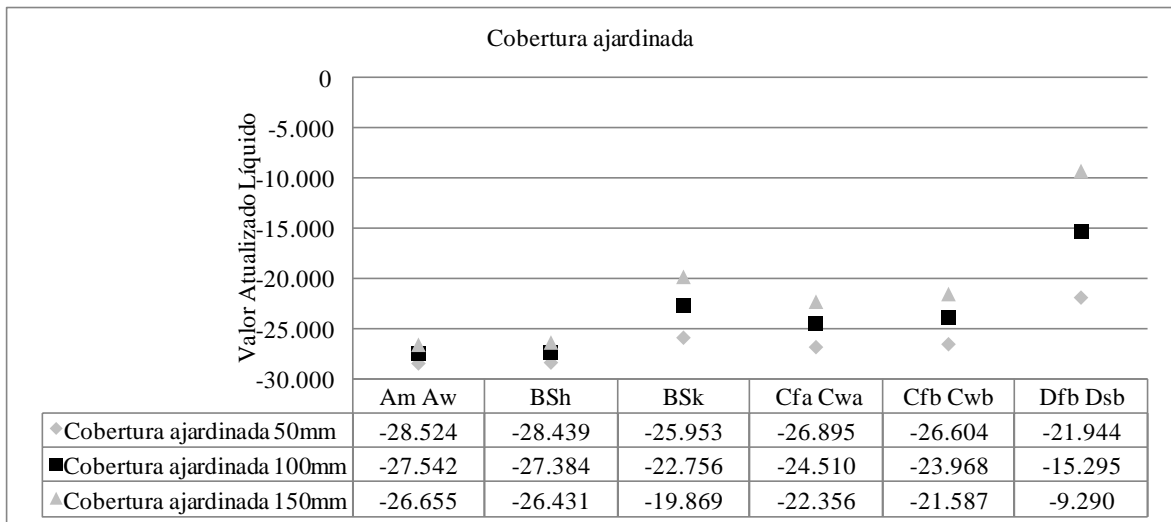


Figura 35: Desempenho da cobertura ajardinada nos diferentes climas.

4.2.4- Solarwall

É uma medida que, segundo a análise realizada, pode resultar vantajosa para cobrir parte da demanda de energia por aquecimento em qualquer clima (Figura 36). Contudo, devido ao dimensionamento da mesma, alguns valores deram negativos ou perto de zero, pelo que se recomenda a análise e dimensionamento individual para cada projeto.

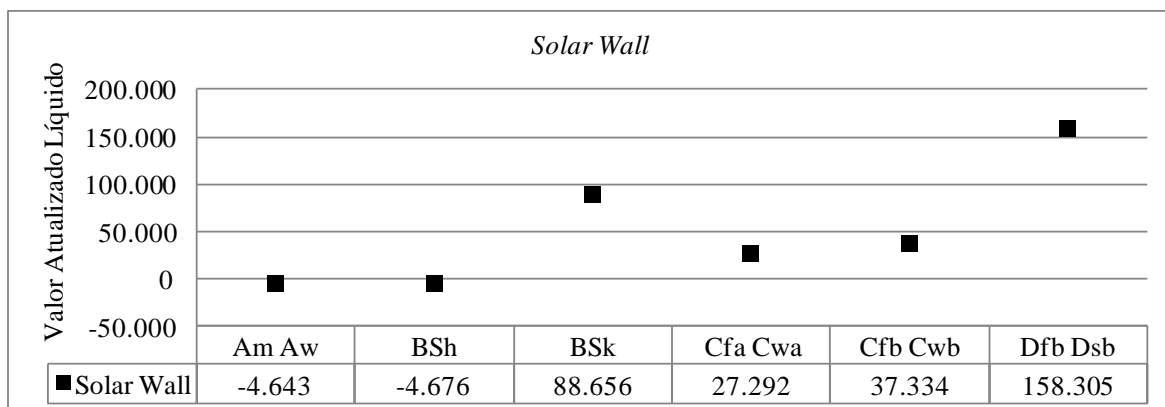


Figura 36: Desempenho da *solarwall* nos diferentes climas.

4.2.5- Free cooling

Esta medida perspectiva-se como a de melhor comportamento em qualquer um dos climas analisados, sendo beneficiados aqueles que apresentam menos necessidades de aquecimento, como os climas Am-Aw e BSh (Figura 37). Com base nisto, e considerando as poupanças apresentadas, pode concluir-se que no contexto industrial o *free cooling* é uma medida indispensável.

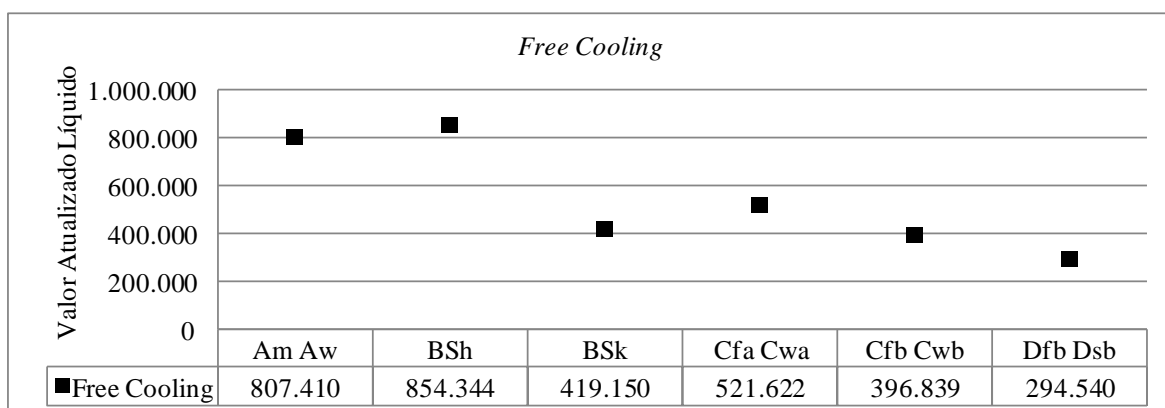


Figura 37: Desempenho do *free cooling* nos diferentes climas.

Este capítulo apresentou os resultados obtidos durante o desenvolvimento desta dissertação.

As análises aqui realizadas possibilitaram a criação de um portefólio de soluções construtivas, adaptável ao clima em que esteja situado o projeto, e a determinação da importância de algumas das medidas de conforto passivo com base nesta premissa. Além disso, permitiram mostrar o comportamento das medidas estudadas, concebidas dentro da arquitetura bioclimática, nos climas selecionados.

Capítulo V - Conclusões

Realizado o processo de análise técnico-económica, para avaliar as medidas de arquitetura bioclimática selecionadas, procurando saber a potencialidade da sua inclusão num edifício industrial, foi possível apresentar um portefólio de soluções construtivas, aplicáveis a nível internacional, de acordo com o clima onde se insere o projeto. Este trabalho permitiu tecer conclusões específicas, sobre as medidas contempladas para o portefólio, que a seguir se enumeram:

(i) todas as medidas referidas poupam energia, mesmo que em diferentes níveis. Assim, sempre que um VAL seja negativo, deve ser ponderado o redimensionamento da medida ou, posteriormente, a sua total eliminação entre as opções existentes;

(ii) a seleção da espessura do isolamento pode ser dependente do rácio custo-benefício, que se pretenda perante a sua implementação, sendo que, pelo menos na análise aqui realizada, os valores resultantes foram sempre positivos, denotando a sustentabilidade da medida;

(iii) a utilização de elementos de sombreamento é recomendada geralmente para qualquer clima, não considerado frio, sempre que a sua implementação não afete, de forma negativa, o comportamento térmico do edifício;

(iv) no caso das coberturas ajardinadas, mesmo apresentando poupanças, não são consideradas viáveis após a análise técnico-económica, dada a sua dimensão e custo associado, pelo que é imperativo o seu dimensionamento de acordo com o clima, e o tipo de utilização que se pretenda;

(v) a *solarwall* perfila-se como uma boa opção à geração de calor, por recurso a solares passivos, sobretudo em climas com temperaturas médias baixas, onde é primordial o aproveitamento do sol. A sua aplicação em climas quentes, onde as necessidades de aquecimento são poucas ou nenhuma, não é justificada, porém, se utilizadas, devem ser cuidadosamente dimensionadas para não sobreaquecer o edifício. Isto supõe a possibilidade de isolar ou evitar a entrada de ar que provém da *solarwall* sempre que necessário;

(vi) finalmente, a aplicação do arrefecimento gratuito ou *free cooling* mostrou-se como a medida mais importante para todos os climas. A possibilidade de redução da carga térmica do edifício de forma gratuita, com consequência direta na diminuição na utilização dos equipamentos de climatização e, portanto, na fatura elétrica, é uma opção certamente

atraente para qualquer edifício, sobretudo em edifícios industriais com grandes cargas internas.

A criação de um portefólio de soluções construtivas que possa ser utilizado a nível mundial, que permita definir as medidas adequadas para cada clima e, qual a importância na ordem de aplicação, com o objetivo de erigir o edifício industrial com um desempenho energético otimizado é, certamente, uma área interessante a desenvolver com rumo à sustentabilidade.

5.1 - Limitações do trabalho desenvolvido

O desenvolvimento deste trabalho implicou o estabelecimento de alguns pressupostos que, não sendo reais, foram determinados sob a tentativa de que estes não afetassem, de forma direta, os resultados obtidos.

Surgiram, igualmente, uma série de problemas ou limitações durante a sua realização:

(i) a atribuição dos climas aos países, tendo sido realizada com base na observação do mapa da classificação *Köppen-Geiger*, incorre da falta de informações de referência a nível mundial;

(ii) a atribuição equitativa da quantidade de população correspondente para cada clima em cada país, não conta com a variação do número de pessoas por clima. Isto e a atribuição de climas aos países com base na observação do mapa, pode ter contribuído para a eliminação de climas que poderiam ser de interesse, por predominarem em alguns países;

(iii) a falta de informação (relativa a áreas úteis, características do edifício, os seus componentes, o tipo de funcionamento, entre outros) e dados reais sobre as indústrias quer em Portugal, quer noutros países, como Brasil e Venezuela;

(iv) a utilização de páginas imobiliárias como parte da metodologia utilizada para o estabelecimento da área “típica” do edifício industrial. Porém, foram utilizados outros trabalhos de investigação, para sustentação da informação e resolução desta problemática;

(v) a ligação dos países com as taxas e custos relacionados com a realização da análise técnico-económica limita, de certa forma, o estudo do efeito do clima no edifício.

5.2 - Propostas de trabalho futuro

Para a continuação do trabalho desenvolvido, relativamente às linhas de investigação que poderão ser interessantes para o trabalho futuro, destacam-se:

- (i) a análise dos climas restantes;
- (ii) o estudo de outras medidas da arquitetura bioclimática ou solares passivas, para complementar a análise realizada;
- (iii) o dimensionamento das medidas de acordo com o clima;
- (iv) a análise de outra área, por exemplo com uma ordem de grandeza 10 vezes superior, com o intuito de avaliar as diferenças que possam surgir, comparativamente, ao módulo de 1.036,8m².
- (v) a análise das outras medidas de conforto, passivo e ativo, com base na tabela de prioridades de *design* de *David Lloyd-Jones*, com o objetivo de criar uma tabela mundial de base científica.

Capítulo VI - Anexos

Anexo 1: Tabela de classificação climática e população total por país.

Elaboração própria com base em [13, 15, 71].

| Classificação Climática | País | População Total |
|--|---------------------|------------------------|
| BWh - BWk - BSh - BSk - Csa - Dsa | Afeganistão | 27.089.593 |
| BWh - BWk - BSh - BSk - Csa - Csb - Cwa - Cwb - Cfa - Cfb | África do sul | 49.660.502 |
| Dsb - Dsc - Dwc - Dfc - ET | Alasca | 722.718 |
| Csa - Cfa | Albânia | 3.087.159 |
| Cfa - Cfb - Dfb - Dfc - ET | Alemanha | 82.509.367 |
| BWh - BWk - BSh - BSk - Csa | Argélia | 33.506.567 |
| Cfb | Andorra | 69.524 |
| Aw - BWh - BSh - Cwa - Cwb | Angola | 13.313.553 |
| Af | Anguilla | 13.487 |
| EF | Antártica | 1.446 |
| Af | Antígua e Barbuda | 72.377 |
| Af - BWh | Antilhas Holandesas | 186.026 |
| BWh - BWk | Arábia Saudita | 24.069.943 |
| BWh - BWk - BSh - BSk - Csa - Csb - Cwa - Cwb - Cfa - Cfb - Dsb - ET | Argentina | 38.237.770 |
| BSk - Dfa - Dfb | Arménia | 2.950.060 |
| BWh | Aruba | 70.322 |
| Am - Aw - BWh - BWk - BSh - BSk - Csa - Csb - Cfa - Cfb | Austrália | 20.984.595 |
| Cfb - Dfb - Dfc - ET | Áustria | 8.213.947 |
| BSk - Cfa - Cfb - Dfa | Azerbaijão | 8.448.260 |
| Aw | Bahamas | 335.142 |
| BWh | Bahrain | 738.874 |
| Am - Aw - Cwa | Bangladesh | 137.493.990 |
| Af | Barbados | 267.353 |
| Cfb - EF | Bélgica | 10.516.112 |
| Af - Am - Aw | Belize | 312.233 |

| Classificação Climática | País | População Total |
|---|----------------------|----------------------------|
| Aw - BSh | Benim | 7.714.766 |
| Dfb | Bielorrússia | 9.678.864 |
| Af - Am - Aw - BWk - BSh - BSk - Cwb - Cfa - Cfb | Bolívia | 9.492.607 |
| Cfa - Cfb - Dfb | Bósnia e Herzegovina | 4.672.165 |
| BWh - BSh | Botswana | 1.893.526 |
| Af - Am - Aw - BWh - BSh - Cwa - Cwb - Cfa - Cfb | Brasil | 186.771.161 |
| Af | Brunei Darussalam | 403.500 |
| Cfa - Cfb - Dsb - Dfa - Dfb - Dfc - ET - EF | Bulgária | 7.673.215 |
| Aw - BWh - BSh | Burkina Faso | 12.318.213 |
| Aw | Burundi | 8.075.188 |
| Cwa - Cwb - Dwb - Dwc | Butão | 812.184 |
| BWh - BSh | Cabo Verde | 494.034 |
| Af - Am - Aw - BSh | Camarões | 17.775.743 |
| Am - Aw | Camboja | 15.507.538 |
| BWk - BSk - Csb - Cfb - Dsb - Dsc - Dwc - Dfb - Dfc - ET | Canadá | 32.440.970 |
| BWh | Catar | 824.355 |
| BWk - BSk - Dsa - Dfa - Dfb | Cazaquistão | 14.653.998 |
| Aw - BWh - BSh | Chade | 8.915.381 |
| BWh - BWk - BSk - Csa - Csb - Cfb - Cfc - DSb - ET - EF | Chile | 15.818.840 |
| Csa | Chipre | 971.391 |
| Csa | Cidade do Vaticano | 767 |
| Af - Am - Aw - BWh - BSh - BSk - Csb - Cwb - Cfb - ET | Colômbia | 47.289.570 |
| Am | Comores | 681.800 |
| Af - Am - Aw | Congo | 3.774.537 |
| Dwa - Dwb | Coreia do norte | 23.510.379 |
| Cwa - Cfa - Dwa - Dfa | Coreia do sul | 51.300.989 |
| Am - Aw | Costa do Marfim | 20.169.352 |

| Classificação Climática | País | População Total |
|---|---------------------------|------------------------|
| Af - Am - Aw | Costa Rica | 4.504.013 |
| Csa - Cfa - Cfb - Dfb | Croácia | 4.468.760 |
| Aw | Cuba | 11.365.124 |
| Cfb - Dfb - EF | Dinamarca | 5.438.698 |
| BWh | Djibuti | 790.709 |
| Af | Dominica | 71.388 |
| BWh | Egito | 72.478.498 |
| Am - Aw | El Salvador | 6.672.218 |
| BWh | Emirados Árabes Unidos | 3.981.978 |
| Af - Am - Aw - BWh - BWk - BSh - BSk - Csb - Cwb - Cfb | Equador | 12.090.804 |
| BWh - BSh | Eritreia | 4.254.498 |
| Dfa - Dfb - Dfc - ET | Eslováquia | 5.379.455 |
| Cfb - Dfb - Dfc - ET | Eslovénia | 1.962.856 |
| BWk - BSk - Csa - Csb - Cfb - Dsb - Dfb - Dfc - ET | Espanha | 45.003.663 |
| BWh - BWk - BSh - BSk - Csa - Csb - Cfa - Cfb - Dsa - Dsb - Dsc - Dwb - Dfa - Dfb - Dfc | Estados Unidos da América | 301.967.681 |
| Dfb | Estónia | 1.332.987 |
| Aw - BWh - BSh - Csa - Csb - Cwa - Cwb - Cfb | Etiópia | 73.872.056 |
| Af - Am - Aw - Cwb | Filipinas | 87.236.532 |
| Dfb - Dfc | Finlândia | 5.275.491 |
| Csa - Csb - Cfa - Cfb - Dfb - Dfc - ET | França | 61.350.009 |
| Am - Aw | Gabão | 1.461.679 |
| Aw - BSh | Gâmbia | 1.508.727 |
| Am - Aw | Gana | 21.801.662 |
| Cfa - Dfa - Dfb | Geórgia | 4.389.004 |
| Csa | Gibraltar | 26.268 |
| Af | Granada | 101.008 |
| BSk - Csa - Csb - Dsa - Dsb - Dfa - Dfb - ET | Grécia | 11.338.624 |
| ET | Gronelândia | 57.327 |

| Classificação Climática | País | População Total |
|--|---|----------------------------|
| Af | Guadalupe | 458.174 |
| Af - Am - Aw - BSh- Cwb - Cfb | Guatemala | 13.110.745 |
| Cfb | Guernsey e Alderney | 63.908 |
| Af - Am - Aw | Guiana | 886.113 |
| Af - Am | Guiana Francesa | 204.932 |
| Am - Aw | Guiné | 8.171.096 |
| Aw - BSh | Guiné-Bissau | 1.492.189 |
| Am - Aw | Guiné Equatorial | 1.120.061 |
| Aw | Haiti | 8.429.006 |
| Af - Am - Aw | Honduras | 6.827.496 |
| Dfa - Dfb | Hungria | 10.037.768 |
| Am - Aw | Iémen | 21.306.342 |
| Af | Ilha de Guam | 169.879 |
| Cfb | Ilha de Man | 75.931 |
| Af | Ilha Norfolk | 1.673 |
| Af | Ilhas Bermudas | 64.574 |
| Aw | Ilhas Caimão | 50.348 |
| Af | Ilhas Cook | 18.723 |
| Cfc | Ilhas Faroé | 49.760 |
| Af | Ilhas Fiji | 867.655 |
| ET | Ilhas Malvinas | 2.736 |
| Af | Ilhas Mariana do norte | 84.228 |
| Af | Ilhas Marshall | 55.449 |
| Af | Ilhas Menores Distantes dos Estados Unidos | 1.955 |
| Af | Ilhas Salomão | 492.170 |
| Aw | Ilhas Turks e Caicos | 34.851 |
| Af | Ilhas Virgens Britânicas | 22.434 |
| Af | Ilhas Virgens dos Estados Unidos | 112.940 |
| Am - Aw - BWh - BWk - BSh - BSk - Csa - Cwa - Cwb - Dsa - Dsb | Índia | 1.129.667.528 |

| Classificação Climática | País | População Total |
|--|--------------|------------------------|
| Af - Am - Aw | Indonésia | 224.481.720 |
| BWh - BWk - BSh - BSk - Dsa | Irão | 70.431.905 |
| BWh - BSh - BSk- Dsb | Iraque | 27.162.627 |
| Cfb - ET | Irlanda | 4.104.354 |
| Dsb - Dfc - ET - EF | Islândia | 299.076 |
| BWh - BSh - BSk - Csa | Israel | 7.237.384 |
| Csa - Csb - Cfa - Cfb - Dfb - Dfc | Itália | 59.546.696 |
| Af - Am - Aw | Jamaica | 2.710.063 |
| Cfa - Dfa - Dfb | Japão | 128.646.345 |
| Cfb | Jersey | 89.485 |
| BWh - BWk - BSh - BSk - Csa | Jordânia | 5.375.307 |
| Af | Kiribati | 93.565 |
| Dfa - Dfb - Dfc - ET | Kosovo | 2.164.192 |
| BWh | Kuwait | 2.730.603 |
| Am - Aw - Cwa | Laos | 5.826.271 |
| BSk - Cwa - Cwb - Cfb | Lesoto | 2.513.076 |
| Dfb | Letónia | 2.279.366 |
| Csa | Líbano | 4.556.561 |
| Af - Am - Aw | Libéria | 3.146.406 |
| BWh - BWk - BSh - BSk - Csa - Csb | Líbia | 6.293.910 |
| Dfb - Dfc - ET | Listenstaine | 35.622 |
| Dfb | Lituânia | 3.403.871 |
| Cfb | Luxemburgo | 463.273 |
| Dfa - Dfb - Dfc - ET | Macedónia | 2.056.894 |
| Af - Am - Aw - BWh - BSh - Cwa - Cwb - Cfa - Cfb | Madagáscar | 18.996.075 |
| Af | Malásia | 28.294.120 |
| Am - Aw - BSh - Cwa - Cwb | Malawi | 11.553.163 |
| Af | Maldivas | 303.732 |
| BWh - BSh - Aw | Mali | 10.914.989 |
| Csa | Malta | 386.007 |
| BWh - BWk - BSh - BSk - Csa | Marrocos | 30.534.870 |

| Classificação Climática | País | População Total |
|--|------------------|----------------------------|
| Af | Martinica | 400.229 |
| Af | Maurícia | 1.292.309 |
| BWh - BSh | Mauritânia | 2.959.592 |
| Am | Mayotte | 194.785 |
| Af - Am - Aw - BWh - BWk - BSh - BSk - Cwa - Cwb - Cfa - Cfb | México | 106.457.446 |
| Af | Micronésia | 110.064 |
| Aw - BWh - BSh - Cwa - Cwb - Cfa | Moçambique | 20.356.242 |
| Dfb | Moldávia | 3.727.246 |
| Csa | Mónaco | 33.443 |
| BWk - BSk - Dsb - Dsc - Dwb - Dwc - Dfc | Mongólia | 2.601.641 |
| Af | Montserrat | 4.796 |
| Af - Am - Aw - Cwa - Cwb - Cfb | Myanmar | 54.821.470 |
| BWh - BWk - BSh | Namíbia | 2.083.405 |
| Af | Nauru | 11.424 |
| Cwa - Cwb | Nepal | 25.874.519 |
| Af - Am - Aw | Nicarágua | 5.701.141 |
| BWh - BSh | Níger | 12.533.242 |
| Am - Aw - BWh - BSh | Nigéria | 162.082.868 |
| Af | Niuê | 1.722 |
| Cfb - Dsb - Dfb - Dfc - ET - EF | Noruega | 4.657.321 |
| Af - Am | Nova Caledónia | 243.233 |
| Cfb | Nova Zelândia | 4.274.588 |
| BWh | Omã | 2.452.234 |
| Cfb | Países Baixos | 16.447.682 |
| BWh - BWk - BSh - BSk - Csa - Cwa - Cwb - Dsa - Dsb - Dwa - Dwb | Paquistão | 167.806.831 |
| Am - Aw | Palau | 21.897 |
| BWh - BSh - Csa | Palestina | 3.070.228 |
| Af - Am - Aw | Panamá | 3.172.537 |
| Af - Am - Aw | Papua-Nova Guiné | 6.157.888 |
| Am - Aw - BSh - Cfa | Paraguai | 5.745.610 |

| Classificação Climática | País | População Total |
|--|-------------------------------------|------------------------|
| S.C | Pequenos Territórios do Chile | 2.390 |
| S.C | Pequenos Territórios do Reino Unido | 52 |
| Af - Am - Aw - BWh - BWk - BSh - BSk - Cwb - Cfa - Cfb | Peru | 28.920.965 |
| Af - Aw - Cfa | Polinésia Francesa | 266.935 |
| Dfa - Dfb | Polónia | 38.109.499 |
| Af - Aw | Porto Rico | 3.992.545 |
| Csa - Csb | Portugal | 10.539.564 |
| Af - Am - Aw - BWh - BSh - Csb - Cwb - Cfb | Quénia | 35.062.192 |
| BWk - BSk - Dsa - Dsb - Dfa - Dfb | Quirguistão | 5.436.608 |
| Cfb - ET | Reino Unido | 60.363.602 |
| Aw - BSh | República Centro-Africana | 3.307.622 |
| Cfb - Dfb - Dfc | República Checa | 10.209.643 |
| Cfa | República de China | 23.001.442 |
| Af - Am - Aw - Cwa - Cwb | República Democrática do Congo | 60.226.717 |
| Af - Am - Aw - BSh | República Dominicana | 9.260.258 |
| BWk - BSh - BSk - Cwa - Cwb - Cfa - Dsb - Dwa - Dwb - Dwc - Dfa - Dfb - ET | República Popular da China | 1.325.082.380 |
| Af | Reunião | 802.911 |
| Dfa - Dfb - Dfc - ET | Roménia | 21.154.226 |
| Aw | Ruanda | 8.959.095 |
| BWk - BSk - Dsc - Dsd - Dwa - Dwb - Dwc - Dwd - Dfb - Dfc - Dfd - ET - EF | Rússia | 143.406.042 |
| BWh | Saara Ocidental | 513.000 |
| Af | Samoa | 184.633 |
| Af | Samoa Americana | 64.411 |
| Am - Af - BWh - Cfb | Santa Helena | 4.662 |
| Af | Santa Lúcia | 169.576 |
| Af | São Cristóvão e Neves | 39.382 |

| Classificação Climática | País | População Total |
|---|-----------------------------------|----------------------------|
| Cfa | São Marino | 31.500 |
| Dfc | São Pedro e Miquelão | 7.466 |
| Am | São Tomé e Príncipe | 173.942 |
| Af | São Vicente e Granadinas | 125.882 |
| Aw - BWh - BSh | Senegal | 11.069.755 |
| Am - Aw | Serra Leoa | 5.159.619 |
| Csa - Cfa - Dfa - Dfb - Dfc - ET | Sérvia e Montenegro | 10.752.915 |
| Am - Aw | Seychelles | 84.927 |
| Af | Singapura | 3.654.103 |
| BWh - BWk - BSh - BSk - Csa | Síria | 19.514.386 |
| Aw - BWh - BSh | Somália | 12.448.179 |
| Af - Am - Aw - Cfb | Sri Lanka | 19.796.874 |
| BSh - Cwa | Suazilândia | 1.173.758 |
| Aw - BWh - BSh | Sudão | 36.618.745 |
| Dfb - Dfc | Suécia | 9.107.795 |
| Dfb - Dfc - ET - EF | Suiça | 7.523.024 |
| Af - Am - Aw | Suriname | 505.973 |
| ET | Svalbard e Jan mayen | 2.274 |
| BWk - BSk - Csa - Dsa | Tadjiquistão | 6.702.382 |
| Am - Aw | Tailândia | 67.249.456 |
| Af - Am - Aw - BWh - BSh - Csb - Cwb - Cfb | Tanzânia | 38.870.348 |
| Af - Am - Aw | Territórios Externos da Austrália | 3.750 |
| Af - EF | Territórios Franceses do sul | 93 |
| Aw | Timor leste | 958.662 |
| Aw | Togo | 5.527.332 |
| Af | Tokelau | 1.394 |
| Af | Tonga | 104.057 |
| Am | Trinidad e Tobago | 1.330.164 |
| BWh - BSh - Csa | Tunísia | 10.342.253 |
| BWk - BSk | Turquemenistão | 6.886.825 |
| BSk - Csa - Csb - Cfa - Cfb - Dsa - Dsb - Dfa - | Turquia | 75.863.600 |

| Classificação Climática | País | População Total |
|--|-----------------|------------------------|
| Dfb | | |
| Af | Tuvalu | 9.860 |
| Dfa - Dfb | Ucrânia | 45.833.977 |
| Af - Am - Aw | Uganda | 28.574.909 |
| Cfa - Cfb | Uruguai | 3.271.771 |
| BWk - BSk - Csa - Dsa | Uzbequistão | 26.607.252 |
| Af | Vanuatu | 222.606 |
| Af - Am - Aw - BWh - BWk - BSh - BSk - Csb - Cwb - Cfb | Venezuela | 25.771.806 |
| Am - Aw - Cwa | Vietname | 85.031.436 |
| Af | Wallis e Futuna | 15.352 |
| Aw - BSh - Cwa - Cwb | Zâmbia | 11.486.812 |
| BWh - BSh - Cwa - Cwb | Zimbabwe | 12.398.897 |

Nota: Para aqueles países onde não foi possível encontrar a sua classificação climática, devido à escala do mapa, foi utilizada a informação disponibilizada por [91].

Anexo 2: Prioridades de *design* em vários climas [16]

| Medidas de poupança energética por regiões globais | | Zonas Climáticas | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|------------------|--------|---------------|-------------|-----------|--------------|-------------|----------|--------|---------|-----------|
| Importância avaliada de 0 a 7 | | Calotas Polares | Tundra | Alta Montanha | Continental | Temperado | Mediterrâneo | Subtropical | Tropical | Savana | Estepes | Desértico |
| Medidas de Conforto Passivo | Medidas de Conforto Ativo | | | | | | | | | | | |
| Ventilação Natural | | 0 | 0 | 1 | 4 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| | Ventilação Mecânica | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Ventilação Noturna | | 0 | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| | Arrefecimento Artificial | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 |
| Arrefecimento Evaporativo | | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 5 | 6 | 7 |
| | Arrefecimento Gratuito | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 |
| Construção Pesada | | 3 | 4 | 4 | 6 | 5 | 6 | 2 | 2 | 3 | 5 | 6 |
| Construção Leve | | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 5 | 5 | 6 | 4 | 4 |
| | Aquecimento Artificial | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 4 | 0 | 0 | 2 | 4 | 1 |
| Aquecimento Solar | | 2 | 3 | 6 | 6 | 7 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 |
| | Aquecimento Gratuito | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| Calor Acidental | | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 |
| Isolamento / Permeabilidade | | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 5 | 0 | 0 | 1 | 3 | 4 |
| Controlo do Sol / Sombreamento | | 0 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 |
| | Iluminação Artificial durante o dia | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Iluminação Natural | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |

| | | |
|----------------|----------------------|---|
| Legenda | 0 – Sem importância | Medidas de eficiência energética constantes onde quer que o edifício esteja localizado Energia incorporada, cinzenta e induzida Gestão do conforto Geração de energia. |
| | 7 – Muito Importante | |

Anexo 3: Considerações relativas à localização do edifício.

A radiação solar e os ventos incidem de forma diferente nos hemisférios norte e sul, portanto:

Hemisfério norte: a maior incidência solar encontra-se no sul, e os ventos frios, os quais se devem evitar, provém do norte.

Hemisfério sul: a maior incidência solar é do norte, e os ventos frios vêm do sul.

- evitar orientar as fachadas principais a leste e a oeste (nascente e poente). As aberturas nestas orientações contribuem para perdas de calor durante o inverno [70];

- apesar das diferenças na duração do dia, a fachada mais exposta recebe maior radiação solar durante o inverno comparativamente ao verão [92];

- a radiação solar recebida pelas fachadas este e oeste é da ordem de 2,5 vezes maior durante o verão comparativamente com o inverno [92];

- a cobertura recebe 4,5 vezes maior radiação no verão relativamente ao inverno e, por isto, a utilização excessiva de coberturas planas nos climas cálidos ou com demasiada pluviosidade não é aconselhável [36, 92];

- a orientação do edifício com as fachadas principais a sul e norte favorece a ventilação natural, devido ao gradiente térmico provocado pelo Sol [23].

Anexo 4: Caracterização dos climas.

| Clima | Caracterização | |
|------------------|---|---|
| Am - Aw | Graus-dia aquecimento (°C-d): Graus-dia arrefecimento (°C-d): Intensidade da radiação solar na horizontal (kWh/m²/d): | 0 5.524 4,48 (Anual) |
| | Cidade – País: Hemisfério: Latitude: Longitude: | Caracas – Venezuela norte °N 10,5 °E – 66,9 |
| BSh | Graus-dia aquecimento (°C-d): Graus-dia arrefecimento (°C-d): Intensidade da radiação solar na horizontal (kWh/m²/d): | 0 5.754 4,88 (Anual) |
| | Cidade – País: Hemisfério: Latitude: Longitude: | Luanda – Angola sul °N -8,9 °E 13,2 |
| BSk | Graus-dia aquecimento (°C-d): Graus-dia arrefecimento (°C-d): Intensidade da radiação solar na horizontal (kWh/m²/d): | 1.868 2.858 5,34 (Anual) |
| | Cidade – País: Hemisfério: Latitude: Longitude: | Esfahã – Irão norte °N 32,5 °E 51,7 |
| Cfa – Cwa | Graus-dia aquecimento (°C-d): Graus-dia arrefecimento (°C-d): Intensidade da radiação solar na horizontal (kWh/m²/d): | 1.515 3.026 3,66 (Anual) |
| | Cidade – País: Hemisfério: Latitude: Longitude: | Anqing – China norte °N 30,5 °E 117,1 |
| Cfb - Cwb | Graus-dia aquecimento (°C-d): Graus-dia arrefecimento (°C-d): Intensidade da radiação solar na horizontal (kWh/m²/d): | 1.852 1.804 3,81 (Anual) |
| | Cidade – País: Hemisfério: Latitude: Longitude: | Samsun City – Turquia norte °N 41,3 °E 36,3 |
| Dfb - Dsb | Graus-dia aquecimento (°C-d): Graus-dia arrefecimento (°C-d): Intensidade da radiação solar na horizontal (kWh/m²/d): | 5.934 746 2,91 (Anual) |
| | Cidade – País: Hemisfério: Latitude: Longitude: | Novosibirsk / Tolmach – Russia norte °N 55,1 °E 82,9 |

Anexo 5: Áreas de naves industriais em diferentes países.

Baseado na análise de 600 naves [93-95].

| Áreas | Portugal | Espanha | México | % |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1000-1100 | 25 | 42 | 34 | 17 |
| 1100-1200 | 17 | 27 | 5 | 8 |
| 1200-1300 | 12 | 14 | 8 | 6 |
| 1300-1400 | 12 | 15 | 7 | 6 |
| 1400-1500 | 12 | 11 | 21 | 7 |
| 1500-1600 | 10 | 8 | 6 | 4 |
| 1600-1700 | 8 | 8 | 3 | 3 |
| 1700-1800 | 9 | 7 | 2 | 3 |
| 1800-1900 | 7 | 1 | 5 | 2 |
| 1900-2000 | 7 | 10 | 7 | 4 |
| 2000-2100 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| 2100-2200 | 4 | 8 | 7 | 3 |
| 2200-2300 | 4 | 3 | 5 | 2 |
| 2300-2400 | 6 | 3 | 4 | 2 |
| 2400-2500 | 9 | 2 | 5 | 3 |
| 2500-2600 | 3 | 4 | 6 | 2 |
| 2600-2700 | 2 | 4 | 2 | 1 |
| 2700-2800 | 3 | 8 | 4 | 2 |
| 2800-2900 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 2900-3000 | 5 | 4 | 8 | 3 |
| 3000-3100 | 3 | 2 | 0 | 1 |
| 3100-3200 | 3 | 3 | 4 | 2 |
| 3200-3300 | 4 | 1 | 5 | 2 |
| 3300-3400 | 1 | 3 | 4 | 1 |
| 3400-3500 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| 3500-3600 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| 3600-3700 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 3700-3800 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 3800-3900 | 0 | 2 | 3 | 1 |
| 3900-4000 | 3 | 2 | 4 | 1 |
| 4000-4100 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 4100-4200 | 1 | 0 | 3 | 1 |
| 4200-4300 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4300-4400 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| 4400-4500 | 2 | 0 | 3 | 1 |
| 4500-4600 | 1 | 0 | 3 | 1 |
| 4600-4700 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 4700-4800 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4900-5000 | 1 | 0 | 6 | 1 |
| 5000-5100 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 5100-5200 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 5300-5400 | 0 | 0 | 3 | 1 |
| 5400-5500 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 5500-5600 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 5600-5700 | 0 | 0 | 1 | 0 |

| Áreas | Portugal | Espanha | México | % |
|-----------|----------|---------|--------|---|
| 5700-5800 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 5800-5900 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 5900-6000 | 2 | 0 | 5 | 1 |

Anexo 6: Temperaturas adequadas ao local de trabalho, segundo diferentes organizações ou documentos.

| Organização/documento | Temperaturas | Especificações |
|---|---|--|
| Health and Safety Executive (HSE) Workplace health, safety and welfare A short guide for managers (UK) | 13°C | Temperatura normal de 13°C, quando inclui atividade física (sempre que a lei não exija uma temperatura inferior). http://www.hse.gov.uk/pubns/indg244.pdf |
| Health and Safety Executive (HSE) | 13°C a 30°C | HSE (anteriormente) Se as temperaturas forem extremamente desconfortáveis, devido ao processo realizado ou à envolvente do edifício, devem ser tomadas as medidas necessárias. http://www.hse.gov.uk/temperature/faq.htm Deve manter-se o indivíduo sempre a uma temperatura confortável (recorrendo a roupa, ou rotação tarefas, etc.). http://www.hse.gov.uk/food/chilled.htm |
| <i>Human Comfort and Health Requirements</i> (pag 26) | 27°C a 29°C (S) 18°C a 20°C (W) 24°C a 27°C (W) | Fábricas e indústrias Indústrias (pintura) http://courses.washington.edu/me333afe/Comfort_Health.pdf |
| <i>Temperature in places of work</i> | 16°C a 21°C (S) 16°C a 19°C (W) | Pessoas com atividades físicas http://www.osh.dol.govt.nz/order/catalogue/pdf/temp-s.pdf |
| <i>Temperature and humidity - for some common production processes</i> | 24°C a 27°C | Indústria do plástico http://www.engineeringtoolbox.com/indoor-design-humidity-d_110.html |

Anexo 7: Temperatura interna e humidade relativa recomendada para alguns produtos industriais comuns e processos de produção [78].

| Industry | Process | Temperature | | | | Relative humidity |
|----------------|-------------------------------------|-------------|-----|-----|-----|-------------------|
| | | °C | | °F | | |
| | | min | max | min | max | % |
| Abrasives | Manufacturing | 26 | 26 | 79 | 79 | 50 |
| Ammunition | | 21 | 21 | 70 | 70 | 40 |
| Bakery | Flour storage | 16 | 26 | 61 | 79 | 55-65 |
| | Production | 23 | 26 | 73 | 79 | 40-70 |
| Billiard Room | | 23 | 24 | 73 | 75 | 40-50 |
| Bowling Center | Bowling alleys | 23 | 24 | 73 | 75 | 50- 55 |
| | Billiard rooms | 23 | 24 | 73 | 75 | |
| Bread | Flour and powdered storage | 21 | 27 | 70 | 80 | 60 |
| | Fermentation | 27 | 27 | 80 | 80 | 75 |
| | Retarding of Dough | 0 | 4 | 32 | 40 | 85 |
| | Final Proof | 35 | 49 | 95 | 120 | 85-90 |
| | Counter flow Cooling | 24 | 24 | 75 | 75 | 80-85 |
| Brewing | Hop storage | -2 | 0 | 29 | 32 | 50-60 |
| | Yeast culture room | | | | | 80 |
| Candy | Chocolate Pan supply air | 13 | 17 | 55 | 62 | 55-45 |
| | Enrobed room | 27 | 29 | 80 | 85 | 30-25 |
| | Chocolate Cooling Tunnel supply air | 4 | 7 | 40 | 45 | 85-70 |
| | Hand Dippers | 17 | 17 | 62 | 62 | 45 |
| | Molded goods cooling | 4 | 7 | 40 | 45 | 85-70 |
| | Chocolate Packing room | 18 | 18 | 65 | 65 | 50 |
| | Chocolate finished stock storage | 18 | 18 | 65 | 65 | 50 |
| | Centers tempering room | 24 | 27 | 75 | 80 | 35-30 |
| | Marshmallow setting room | 24 | 26 | 75 | 78 | 45-40 |
| | Grained marshmallows drying | 43 | 43 | 110 | 110 | 40 |

| Industry | Process | Temperature | | | | Relative humidity |
|-------------------------|-------------------------------|-------------|-----|-----|-----|-------------------|
| | | °C | | °F | | |
| | | min | max | min | max | |
| | Gum drying | 52 | 66 | 125 | 150 | 25-15 |
| | Sanded Gum drying | 38 | 38 | 100 | 100 | 25-40 |
| | Gum finished stock storage | 10 | 18 | 50 | 65 | 65 |
| | Sugar pan supply air | 29 | 41 | 85 | 105 | 30-20 |
| | Polishing pan supply air | 21 | 27 | 70 | 80 | 50-40 |
| | Pan rooms | 24 | 27 | 75 | 80 | 35-30 |
| | Nonpareil Pan supply air | 38 | 49 | 100 | 120 | 20 |
| | Hard candy cooling tunnel air | 16 | 21 | 60 | 70 | 55-40 |
| | Hard candy packing | 21 | 24 | 70 | 75 | 40-35 |
| | Hard candy storage | 10 | 21 | 50 | 70 | 40 |
| | Caramel rooms | 21 | 27 | 70 | 80 | 40 |
| | Ceramics | Refractory | 43 | 66 | 110 | 150 |
| Molding room | | 27 | 27 | 80 | 80 | 60-70 |
| Clay storage | | 16 | 27 | 60 | 80 | 35-65 |
| Decalcomania production | | 24 | 27 | 75 | 80 | 50 |
| Decoration room | | 24 | 27 | 75 | 80 | 50 |
| Cereal | Packaging | 24 | 27 | 75 | 80 | 45-50 |
| Cheese Curing | Cheddar | 7 | 13 | 45 | 55 | 85-90 |
| | Swiss | 16 | 16 | 60 | 60 | 80-85 |
| | Blue | 9 | 10 | 48 | 50 | 95 |
| | Brick | 16 | 18 | 60 | 65 | 90 |
| | Limburger | 16 | 18 | 60 | 65 | 95 |
| | Camembert | 12 | 15 | 53 | 59 | 90 |
| Clean rooms | | 21 | 27 | 70 | 80 | 40-60 |
| Distilling | Grain Storage | 16 | 16 | 60 | 60 | 35-40 |
| | General Manufacturing | 16 | 24 | 60 | 75 | 45-60 |
| | Aging | 18 | 22 | 65 | 72 | 50-60 |
| Fruit Storage | Apples | -1 | 4 | 30 | 40 | 90 |
| | Apricots | -1 | 0 | 31 | 32 | 90-95 |
| | Grapefruits (California) | 14 | 16 | 58 | 60 | 85-90 |
| | Grapefruits | 10 | 10 | 50 | 50 | 85-90 |

| Industry | Process | Temperature | | | | Relative humidity |
|-----------------------|---|-------------|-----|-----|-----|-------------------|
| | | °C | | °F | | |
| | | min | max | min | max | % |
| | (Florida) | | | | | |
| | Grapes (Eastern) | -1 | 0 | 31 | 32 | 85 |
| | Grapes (Western) | -1 | -1 | 30 | 31 | 90-95 |
| | Lemons | 14 | 16 | 58 | 60 | 86-88 |
| | Oranges (California) | 4 | 7 | 40 | 44 | 85-90 |
| | Oranges (Florida) | 0 | 1 | 32 | 34 | 85-90 |
| | Peaches and Nectarines | -1 | -1 | 31 | 31 | 90 |
| | Plums | -1 | 0 | 30 | 32 | 90-95 |
| | Citrus fruits | 3 | 4 | 38 | 40 | 90-95 |
| Fur | Storage | -2 | 4 | 28 | 39 | 25-40 |
| | Drying | 43 | 43 | 109 | 109 | |
| Gum | Manufacturing | 25 | 25 | 77 | 77 | 33 |
| | Rolling | 20 | 20 | 68 | 68 | 63 |
| | Stripping | 22 | 22 | 72 | 72 | 53 |
| | Breaking | 23 | 23 | 74 | 74 | 47 |
| | Wrapping | 23 | 23 | 74 | 74 | 58 |
| Hospitals | Operating, Cystoscopic and fracture rooms | 20 | 24 | 68 | 76 | 50 |
| | Patient rooms | 24 | 24 | 75 | 75 | 40-50 |
| | Intensive care unit | 24 | 24 | 75 | 75 | 40 |
| | Administrative and service areas | 21 | 27 | 70 | 80 | 30-50 |
| Leather | Drying | 21 | 49 | 70 | 120 | 75 |
| | Storage, winter room temperature | 10 | 16 | 50 | 60 | 40-60 |
| Lenses (optical) | Fusing | 24 | 24 | 75 | 75 | 45 |
| | Grinding | 27 | 27 | 80 | 80 | 80 |
| Libraries and Museums | Normal reading and viewing rooms | 21 | 23 | 70 | 74 | 40-50 |
| | Rare manuscript and Storage Vaults | 21 | 22 | 70 | 72 | 45 |
| | Art Storage Areas | 18 | 22 | 65 | 72 | 50 |
| Matches | Manufacture | 22 | 23 | 72 | 74 | 50 |
| | Drying | 21 | 24 | 70 | 75 | 60 |
| | Storage | 16 | 17 | 60 | 62 | 50-55 |
| Meat and fish | Beef (fresh) | 0 | 1 | 32 | 34 | 88-92 |
| | Beef (frozen) | -23 | -18 | -10 | | 90-95 |
| | Fish (fresh) | 1 | 2 | 33 | 35 | 90-95 |

| Industry | Process | Temperature | | | | Relative humidity |
|--------------------|--|-------------|-----|-----|-----|-------------------|
| | | °C | | °F | | |
| | | min | max | min | max | |
| | Fish (Frozen) | -23 | -18 | -10 | | 90-95 |
| | Lamb and Pork (Fresh) | 0 | 1 | 32 | 34 | 85-90 |
| | Lamb and Pork (Frozen) | -23 | -18 | -10 | | 90-95 |
| Mushrooms | Sweating out period | 49 | 60 | 120 | 140 | |
| | Spawn added | 16 | 24 | 60 | 75 | 100 |
| | Growing period | 9 | 16 | 48 | 60 | 80 |
| | Storage | 0 | 2 | 32 | 35 | 80-85 |
| Paint Applications | Oil paint spraying | 16 | 32 | 60 | 90 | 80 |
| | Drying oil paints | 15 | 32 | 59 | 90 | 25-50 |
| | Brush and spray painting | 15 | 27 | 59 | 81 | 25-50 |
| Pharmaceuticals | Manufactured powder storage and packing area | 24 | 24 | 75 | 75 | 35 |
| | Milling room | 24 | 24 | 75 | 75 | 35 |
| | Tablet compressing and coating | 24 | 24 | 75 | 75 | 35 |
| | Effervescent tablets and powders | 24 | 24 | 75 | 75 | 20 |
| | Hypodermic tablets | 24 | 24 | 75 | 75 | 30 |
| | Colloids | 21 | 21 | 70 | 70 | 30-50 |
| | Caught drops | 27 | 27 | 80 | 80 | 40 |
| | Glandular products | 24 | 24 | 76 | 76 | 5-10 |
| | Ampoule manufacturing | 24 | 24 | 75 | 75 | 35-50 |
| | Gelatin Capsules | 24 | 24 | 76 | 76 | 35 |
| | Capsule storage | 24 | 24 | 76 | 76 | 35 |
| | Microanalysis | 24 | 24 | 76 | 76 | 50 |
| | Biological manufacturing | 24 | 24 | 76 | 76 | 35 |
| | Liver extracts | 24 | 24 | 76 | 76 | 35 |
| | Serums | 24 | 24 | 76 | 76 | 50 |
| | Animal rooms | 24 | 27 | 75 | 80 | 50 |
| | Small animal rooms | 24 | 26 | 75 | 78 | 50 |
| Paper | Binding, cutting, | 15 | 27 | 59 | 81 | 25-50 |

| Industry | Process | Temperature | | | | Relative humidity |
|----------------------|--|-------------|-----|-----|-----|-------------------|
| | | °C | | °F | | |
| | | min | max | min | max | % |
| | drying, folding, gluing | | | | | |
| | Storage of paper | 15 | 27 | 59 | 81 | 34-45 |
| | Storage of books | 18 | 21 | 64 | 70 | 38-50 |
| Plastics | Manufacturing areas thermosetting molding compounds | 27 | 27 | 80 | 80 | 25-30 |
| | Cellophane wrapping | 24 | 27 | 75 | 80 | 45-65 |
| Photographic | Development of film | 21 | 24 | 70 | 75 | 60 |
| | Drying | 24 | 27 | 75 | 81 | 50 |
| | Printing | 21 | 21 | 70 | 70 | 70 |
| | Cutting | 22 | 22 | 72 | 72 | 65 |
| Plywood | Hot pressing, resin | 32 | 32 | 90 | 90 | 60-70 |
| | Cold pressing | 32 | 32 | 90 | 90 | 15-25 |
| Printing | Binding | 21 | 21 | 70 | 70 | 45 |
| | Folding | 25 | 25 | 77 | 77 | 65 |
| | Pressing, general | 24 | 24 | 75 | 75 | 60-78 |
| | Plate making | 24 | 27 | 75 | 80 | max 45 |
| | Lithographic press room | 24 | 27 | 76 | 80 | 43-47 |
| | Letterpress and web offset rooms | 21 | 27 | 70 | 80 | 50 |
| | Paper storage, letterpress | 21 | 27 | 70 | 80 | 43-47 |
| | Paper storage, multicolor sheet feed lithography | 24 | 27 | 76 | 80 | 50-55 |
| | | | | | | |
| Raw Material Storage | Nuts, insect | 7 | 7 | 45 | 45 | 65-75 |
| | Nuts, rancidity | 1 | 3 | 34 | 38 | 65-75 |
| | Eggs | -1 | -1 | 30 | 30 | 85-90 |
| | Chocolate, flats | 18 | 18 | 65 | 65 | 50 |
| | Butter | -7 | -7 | 20 | 20 | |
| | Dates, figs | 4 | 7 | 40 | 45 | 75-65 |
| | Corn Syrup | | | | | 90-100 |
| | Liquid sugar | 24 | 27 | 75 | 80 | 60-50 |
| Rubber-dipped goods | Cementing | 27 | 27 | 80 | 80 | 25-30 |
| | Dipping surgical articles | 24 | 32 | 75 | 90 | 25-30 |

| Industry | Process | Temperature | | | | Relative humidity |
|--|------------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------------------|
| | | °C | | °F | | |
| | | min | max | min | max | |
| Textile | Storage prior to manufacture | 16 | 24 | 60 | 75 | 40-50 |
| | Laboratory, ASTM standard | 24 | 24 | 75 | 75 | 50-55 |
| | Cotton, carding | 24 | 27 | 75 | 81 | 50 |
| | Cotton, spinning | 15 | 27 | 59 | 81 | 60-70 |
| | Cotton, weaving | 20 | 24 | 68 | 75 | 70-80 |
| | Nylon, production | 27 | 27 | 81 | 81 | 50-60 |
| | Rayon, spinning | 21 | 21 | 70 | 70 | 85 |
| | Rayon, twisting | 21 | 21 | 70 | 70 | 65 |
| | Silk, spinning | 24 | 27 | 75 | 81 | 65-70 |
| | Silk, weaving | 24 | 27 | 75 | 81 | 60-70 |
| | Wool, carding | 24 | 27 | 75 | 81 | 65-70 |
| | Wool, spinning | 24 | 27 | 75 | 81 | 55-60 |
| | Wool, weaving | 24 | 27 | 75 | 81 | 50-55 |
| | Tobacco | Cigar and cigarette making | 21 | 24 | 70 | 75 |
| Softening | | 32 | 32 | 90 | 90 | 85 |
| Stemming and strigging | | 24 | 30 | 75 | 86 | 70 |
| Filler tobacco casing conditioning | | 24 | 24 | 75 | 75 | 75 |
| Filler tobacco storage and preparation | | 26 | 26 | 78 | 78 | 70 |
| Wrapper tobacco storage and conditioning | | 24 | 24 | 75 | 75 | 75 |

Anexo 8: *Ranking* das medidas, segundo o clima, com base no Valor Atualizado Líquido.

| Clima Am Aw | | |
|----------------------|--------------|----------------|
| Medidas | | VAL (€) |
| Free cooling | | 807.410 |
| Sombreamento | | 4.526 |
| Isolamento | 80 mm | 858 |
| Isolamento | 100mm | 323 |
| Isolamento | 60 mm | -414 |
| Solarwall | | -4.643 |
| Cobertura ajardinada | 150 mm | -26.655 |
| Cobertura ajardinada | 100 mm | -27.542 |
| Cobertura ajardinada | 50 mm | -28.524 |

| Clima BSh | | |
|----------------------|--------------|----------------|
| Medidas | | VAL (€) |
| Free cooling | | 854.344 |
| Sombreamento | | 4.694 |
| Isolamento | 80 mm | 1.872 |
| Isolamento | 100mm | 1.552 |
| Isolamento | 60 mm | 251 |
| Solarwall | | -4.676 |
| Cobertura ajardinada | 150 mm | -26.431 |
| Cobertura ajardinada | 100 mm | -27.384 |
| Cobertura ajardinada | 50 mm | -28.439 |

| Clima BSk | | |
|----------------------|--------------|----------------|
| Medidas | | VAL (€) |
| Free cooling | | 419.150 |
| Solarwall | | 88.656 |
| Isolamento | 100mm | 37.533 |
| Isolamento | 80 mm | 31.567 |
| Isolamento | 60 mm | 19.723 |
| Sombreamento | | -221 |
| Cobertura ajardinada | 150 mm | -19.869 |
| Cobertura ajardinada | 100 mm | -22.756 |
| Cobertura ajardinada | 50 mm | -25.953 |

| Clima Cfa Cwa | | |
|----------------------|--------------|----------------|
| Medidas | | VAL (€) |
| Free cooling | | 521.622 |
| Solarwall | | 27.292 |
| Isolamento | 100mm | 23.116 |
| Isolamento | 80 mm | 20.313 |
| Isolamento | 60 mm | 12.343 |
| Sombreamento | | 233 |
| Cobertura ajardinada | 150 mm | -22.356 |
| Cobertura ajardinada | 100 mm | -24.510 |
| Cobertura ajardinada | 50 mm | -26.895 |

| Clima Cfb Cwb | | |
|----------------------|--------------|----------------|
| Medidas | | VAL (€) |
| Free cooling | | 396.839 |
| Solarwall | | 37.334 |
| Isolamento | 100mm | 28.115 |
| Isolamento | 80 mm | 23.794 |
| Isolamento | 60 mm | 14.626 |
| Sombreamento | | -27 |
| Cobertura ajardinada | 150 mm | -21.587 |
| Cobertura ajardinada | 100 mm | -23.968 |
| Cobertura ajardinada | 50 mm | -26.604 |

| Clima Dfb Dsb | | |
|----------------------|--------------|----------------|
| Medidas | | VAL (€) |
| Free cooling | | 294.540 |
| Solarwall | | 158.305 |
| Isolamento | 100mm | 95.545 |
| Isolamento | 80 mm | 79.444 |
| Isolamento | 60 mm | 51.118 |
| Sombreamento | | -5.583 |
| Cobertura ajardinada | 150 mm | -9.290 |
| Cobertura ajardinada | 100 mm | -15.295 |
| Cobertura ajardinada | 50 mm | -21.944 |

Capítulo VII - Referências bibliográficas

1. Kotter, M.G., Jurgens, et al. *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. Meteorologische Zeitschrift, 2006. **15**, 259-263.
2. EDP, *Guia Prático da Eficiência Energética*, S.d. Casca, Editor 2006.
3. Kusik, C.L., P. Stickles, and R.F. Machacek *Industrial Energy Conservation by New Process Design and Efficiency Improvements*. 1983. **II**, 6.
4. Agency, E.E. *Final Energy Consumption by sector in the EU-27, 1990-2008*. 23/02/2012]; Available from: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/final-energy-consumption-by-sector-4>.
5. Administration, U.S.E.I., *International Energy Outlook 2011*, 2011, U.S Energy Information Administration. p. 301.
6. Asensio, P., *Ecological Architecture. Tendencias bioclimáticas y arquitectura del paisaje en el año 2.000*1999, Barcelona: Loft publications. 175.
7. Gonçalves, H. and J.M. Graça, *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*, 2004: Lisboa.
8. Albuquerque, A.M., *Integração de Conceitos Bioclimáticos ao Projeto Arquitetônico*, in *Engenharia Civil*2006, Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis. p. 197.
9. University, A.S. *Victor Olgyay - AED Library Collections*. [cited 2012 20/08/2012]; Available from: <http://lib.asu.edu/architecture/collections/olgyay>.
10. AncientFaces, L. *Victor Olgyay (1910 - 1970)*. 1999 [cited 2012 20/08/2012]; Available from: <http://www.ancientfaces.com/research/person/6144069/victor-olgyay-profile-and-genealogy>.
11. García, A.P. *Arquitectura bioclimática: sus orígenes teóricos y principios básicos*. 2006 11/03/2012 [cited 2012 06/03/2012]; Available from: http://www.energiaadebate.com/Articulos/febrero_2006/armando_paez_garcia.htm.
12. Neves, L.d.O., *Arquitetura Bioclimática e a Obra de Severiano Porto: Estratégias de Ventilação Natural*, in *Escola de Engenharia de São Carlos*2006, Universidade de São Paulo: São Carlos. p. 222.
13. Peel, M.C.F., B.I; and T.A. McMahon *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*. Hydrol. Earth Syst. Sci, 2007. **11**, 1633–1644.
14. Wong, S.L., et al., *Changes in bioclimates in different climates around the world and implications for the built environment*. Building and Environment, 2012. **57**(0): p. 214-222.
15. Peel, M. *Updated Köppen-Geiger climate map of the world*. 2007 [cited 2012 31/07/2012]; Available from: <http://people.eng.unimelb.edu.au/mpeel/koppen.html>.
16. Lloyd-Jones, D., *Architecture and the Environment*1998: Laurence King Publishing. 256.
17. Batista, J.O. and R. Lamberts, *Ventilação mecânica noturna.*, in *Casa Eficiente Bioclimatologia e Desempenho Térmico*2010: Florianópolis. p. 61-89.
18. Santamouris, M., A. Sfakianaki, and K. Pavlou, *On the efficiency of night ventilation techniques applied to residential buildings*. Energy and Buildings, 2010. **42**(8): p. 1309-1313.
19. Geros, V., et al., *Experimental evaluation of night ventilation phenomena*. Energy and Buildings, 1999. **29**(2): p. 141-154.

20. Wang, Z., L. Yi, and F. Gao, *Night ventilation control strategies in office buildings*. Solar Energy, 2009. **83**(10): p. 1902-1913.
21. Gratia, E., I. Bruyère, and A. De Herde, *How to use natural ventilation to cool narrow office buildings*. Building and Environment, 2004. **39**(10): p. 1157-1170.
22. Breesch, H., A. Bossaer, and A. Janssens, *Passive cooling in a low-energy office building*. Solar Energy, 2005. **79**(6): p. 682-696.
23. Mendonça, P.J.F.d.A.U.d., *Habitar sob uma Segunda Pele*, in *Engenharia Civil*2005, Universidade do Minho: Guimarães. p. 342.
24. Abdalla Ali Mohamed, E., *Low Energy, Wind Catcher Assisted Indirect - Evaporative Cooling System for Building Applications*, in *Engenharia*2009, University of Nottingham.
25. Abernethy, D. *Evaporative Roof Cooling - A Simple Solution to Cut Cooling Costs*. 1985.
26. Evafrío, *Sistema de arrefecimento evaporativo em cobertura*: Brazil.
27. Florensa, R.S. and H.C. Roura, *Arquitectura y Energia Natural*, U.P.d. Catalunya, Editor 1995: Barcelona.
28. Lengen, J.V., *Manual do Arquitecto Descalço*2010: Dinalivro. 695.
29. Soutullo, S., et al., *Thermal conditioning for urban outdoor spaces through the use of evaporative wind towers*. Building and Environment, 2011. **46**(12): p. 2520-2528.
30. Soutullo, S., C. Sanjuan, and M.R. Heras, *Energy performance evaluation of an evaporative wind tower*. Solar Energy, 2012. **86**(5): p. 1396-1410.
31. Miyazaki, T., A. Akisawa, and T. Kashiwagi, *The effects of solar chimneys on thermal load mitigation of office buildings under the Japanese climate*. Renewable Energy, 2006. **31**(7): p. 987-1010.
32. Zhai, X.Q., Z.P. Song, and R.Z. Wang. *A review for the applications of solar chimneys in buildings*. 2011 [cited 15; 8:[3757-3767]]. Available from: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=GatewayURL&_origin=ScienceSearch&_method=citationSearch&_piikey=S1364032111002498&_version=1&_returnURL=http%3A%2F%2Fwww.scius.com%2Frsapp%2F&md5=f7882e65481176c265da9d3b22513816.
33. Amori, K.E. and S.W. Mohammed, *Experimental and numerical studies of solar chimney for natural ventilation in Iraq*. Energy and Buildings, 2012. **47**: p. 450-457.
34. Chan, A.L.S., *Effect of adjacent shading on the thermal performance of residential buildings in a subtropical region*. Applied Energy, 2012. **92**: p. 516-522.
35. Kim, G., et al., *Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings*. Energy and Buildings, 2012. **46**: p. 105-111.
36. Higuera, E., *Urbanismo Bioclimático*. Colección Arquitectura y Diseño + Ecología2010, Barcelona: Gustavo Gili.
37. Max, J.F.J., et al., *Glass film-combination: Opto-physical properties and energy saving potential of a novel greenhouse glazing system*. Energy and Buildings, 2012. **50**: p. 298-307.
38. Pontikakos, C.F., Konstantinos P.;, T.A. Tsiligridis, and A.B. Sideridis *Natural ventilation efficiency in a twin-span greenhouse using 3D computational fluid dynamics*.
39. Vieira, M.J.d.F.A., *Técnicas Constructivas Ambientalmente Adequadas*, in *Engenharia Civil*2008, Universidade do Porto: Porto. p. 180.

40. Dimassi, N. and L. Dehmani, *Thermal performance of a passive test room with a Trombe wall in Tunisia*. 2012.
41. Jaber, S. and S. Ajib, *Optimum design of Trombe wall system in mediterranean region*. Solar Energy, 2011. **85**(9): p. 1891-1898.
42. Chel, A., J.K. Nayak, and G. Kaushik, *Energy conservation in honey storage building using Trombe wall*. Energy and Buildings, 2008. **40**(9): p. 1643-1650.
43. Mateus, R. and L. Bragança, *Tecnologias Constructivas para a Sustentabilidade da Construção* 2006, Porto: Edições Copy.
44. Inc., C.E. *SolarWall Systems*. 2012 [cited 2012 10/09/2012]; Available from: <http://solarwall.com/es/inicio.php>.
45. Inc., C.E., *Solar Air Heating*, C.E. Inc., Editor 2012. p. 2.
46. Sadineni, S.B., S. Madala, and R.F. Boehm, *Passive building energy savings: A review of building envelope components*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. **15**(8): p. 3617-3631.
47. Langdon, W.K., *Movable Insulation*, 2006.
48. Al-Homoud, D.M.S., *Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials*. Building and Environment, 2005. **40**(3): p. 353-366.
49. Hamza, N., *Double versus single skin facades in hot arid areas*. Energy and Buildings, 2008. **40**(3): p. 240-248.
50. Shameri, M.A., et al., *Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. **15**(3): p. 1468-1475.
51. Gratia, E. and A. De Herde, *Greenhouse effect in double-skin facade*. Energy and Buildings, 2007. **39**(2): p. 199-211.
52. Xu, L. and T. Ojima, *Field experiments on natural energy utilization in a residential house with a double skin façade system*. Building and Environment, 2007. **42**(5): p. 2014-2023.
53. Zhou, J. and Y. Chen. *A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China*. 2010 [cited 14; 4:1321-1328]. Available from: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=GatewayURL&_origin=ScienceSearch&_method=citationSearch&_piikey=S1364032109002792&_version=1&_returnURL=http%3A%2F%2Fwww.sciurus.com%2Frsapp%2F&md5=8fc38da36185e071816ac05917db5291.
54. Marcondes, M.P. *Double-skin façades on high-rise office buildings in São Paulo: an environmentally efficient solution?* 2007.
55. Pasquay, T., *Natural ventilation in high-rise buildings with double facades, saving or waste of energy*. Energy and Buildings, 2004. **36**(4): p. 381-389.
56. Filho, S.P., *Telhado Vegetado*, in *Casa Eficiente Bioclimatologia e Desempenho Térmico* 2010: Florianópolis. p. 91-123.
57. Cutlip, J. *What is a green roof*. 2008 [11/10/2012]; Available from: http://extension.ucdavis.edu/unit/green_building_and_sustainability/pdf/resources/green_roof.pdf.
58. Spala, A., et al., *On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece*. Renewable Energy, 2008. **33**(1): p. 173-177.

59. Niachou, A., et al., *Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance*. Energy and Buildings, 2001. **33**(7): p. 719-729.
60. Castleton, H.F., et al. *Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit*. 2010 [cited 42; 10:[1582-1591]. Available from: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=GatewayURL&_origin=ScienceSearch&_method=citationSearch&_piikey=S0378778810001453&_version=1&_returnURL=http%3A%2F%2Fwww.sciurus.com%2Frsapp%2F&md5=88548d3400842c9809a31ced95416b11.
61. Fioretti, R., et al., *Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate*. Building and Environment, 2010. **45**(8): p. 1890-1904.
62. Padin, P.A., *Arquitetura da Indústria*, in *Faculdade de Arquitetura e Urbanismo* 2009, São Paulo. p. 278.
63. Portuguesa, A.I., *Informações sobre naves industriais*, Y.D. Neves, Editor 2012, AIP.
64. Portugal, A.E.d., *Informações sobre naves industriais*, Y.D. Neves, Editor 2004, AEP.
65. Martins, H., *Painel tipo sanduíche*, Y.C.D. N., Editor 2012, Perfitec lda.
66. Canada, N.R., *RETScreen 4*, 2013.
67. Sika, *Tecnologia e conceitos Sika® para pavimentos e revestimentos*, 2010. p. 18.
68. Sika, *Sikafloor® PurCem® urethane mortar flooring systems*, 2009, Sika. p. 2.
69. Becker, E. *Alabeo de losas de pisos industriales*. 6.
70. *Energua*, in *Indústria e Ambiente e Construção Magazine* 2010: Porto. p. 64.
71. World News Inc. *World Population*. 2012 [cited 2012 01/06/2012]; Available from: <http://www.population.com/>.
72. CYPE ingenieros, S.A., *Gerador de precos*, Top-informática, Lda.
73. International, R., *RETScreen Software Online User Manual* in *Passive Solar Heating Project Model* 2005. p. 15-21.
74. Ramos, I.R., *Preços e características das coberturas ajardinadas.*, Y.D. Neves, Editor 2012-2013: Intemper.
75. Decflex, e.d.v.L., *Custo de implementação dos equipamentos para ventilação noturna*, Y.D. Neves, Editor 2012: Decflex web page.
76. Lópes, I.T., *Custo de manutenção dos equipamentos para ventilação noturna*, Y.D. Neves, Editor 2012: Iberoar.
77. Energy, U.S.D.o. *Building Energy Software Tools Directory*. [cited 2012 16/05]; Available from: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=527/pagen_ame=alpha_list_sub.
78. toolbox, T.e. *Indoor design conditions - industrial products and production processes*. [cited 2013 07/04/2013]; Available from: http://www.engineeringtoolbox.com/indoor-design-humidity-d_110.html.
79. Washington, U.o., *Human comfort and health requirements*, University of Washington: UW Courses Web Server. p. 38.
80. Government, U.K. *Temperature*. [cited 2013 07/04/2013]; Available from: <http://www.hse.gov.uk/temperature/index.htm>.
81. Government, N.Z. *What you need to know about temperature in places of work*. 28/04/2013 [cited 2013 07/04/2013]; Available from: <http://www.osh.dol.govt.nz/order/catalogue/102.shtml>.

82. SEMA, *Desperdício zero*, S.d.E.d.M.A.e.R. Hídricos, Editor 2005, Governo de Paraná: Curitiba.
83. Wagner, A., et al., *International Fuel Prices 2010/2011*, 2012, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development. p. 108.
84. Commission, E. *Energy price statistics*. 2013 [cited 2013 20/02/2013]; Available from:
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Energy_price_statistics#Electricity_prices_for_industrial_consumers.
85. Agency, C.I., *Inflation rate (consumer prices)*, in *The World Factbook* 2013, CIA.
86. Agency, C.I., *Central bank discount rate*, in *The World Factbook* 2013, CIA.
87. Fund, I.M. *Interest rates, discount rate for Islamic Republic of Iran* 2011 [cited 2013 19/03/2013]; Available from:
<http://research.stlouisfed.org/fred2/series/INTDSRIRM193N>.
88. Jannuzzi, P.d.M., W.L. De Miranda, and D.S.G. Da Silva *Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações*. Informática Pública, 2009. 1, 69-87.
89. Fonseca, E.S., *Paralelo político Portugal/Brasil sobre eficiência energética*, in *Departamento de Engenharia Mecânica* 2012, Universidade de Aveiro. p. 167.
90. Initiative, G.R., *Directrizes para a Elaboração de Relatórios de Sustentabilidade*, 2007, Associação Industrial Portuguesa. p. 52.
91. LLC, C.a.A. *Weatherbase*. 2013 [cited 2013 01/03/2013]; Available from:
<http://www.weatherbase.com/>.
92. Alberich, M.L.d.A. *Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura*. 2003.
93. InmoMexico. *Renta Naves Industriales México*. 2012 [cited 2012 19/07/2012]; Available from:
http://www.inmomexico.com/inmo/cat-15-1/Renta_Naves_Industriales_Mexico-6.html.
94. Imo-portugal. *Diretorio imobiliario nacional*. 2012 [cited 2012 19/07/2012]; Available from: <http://www.imo-portugal.com/index.php>.
95. Masprofesional. *Naves industriales en venta y alquiler*. 2012 [cited 2012 19/07/2012]; Available from: <http://www.masprofesional.com/naves/>.